

API 650 -STANDARDIN MUKAISEN SÄILIÖN 3D-MALLIN PARAMETRISOIMINEN

Toni Sironen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) SIRONEN, Toni	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 29.05.2012
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
	Luottamuksellisuus () saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi API 650 -STANDARDIN MUKAISEN SÄILIÖN 3D-MALLIN PARAMETRISOIMINEN		
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) SÄLLINEN, Pekka, lehtori LUOSMA, Petri, lehtori		
Toimeksiantaja(t) Karibu Oy VAINIO, Tomi, projektipäällikkö		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli parametrisoida API 650 -standardin mukaisen säiliön kokoonpanomalli. Parametrisoinnilla pyrittiin tehostamaan toimeksiantajan suunnitteluprosessia, joka lähtötilanteessa sisälsi paljon tuottamatonta suunnittelutyötä. Mallilla haluttiin lisäksi vähentää suunnittelun aikana tehtäviä virheitä sekä yhtenäistää yrityksen säiliömallinnusprosessia eri suunnittelijoiden välillä.</p> <p>Mallinnus toteutettiin Autodesk Inventor 2010 -ohjelmalla, joka on toimeksiantajan pääsääntöinen suunnittelutyökalu. Mallinnusvaihe aloitettiin tutustumalla yrityksessä aiemmin luotuihin malleihin sekä API 650 -standardiin, joiden pohjalta työssä käytetyt lähtötiedot saatiin hankittua. Seuraavaksi tutustuttiin suunnitteluohjelman- ja mallinnusmenetelmien mahdollisuuksiin sekä rajoituksiin. Selvitystyön seurauksena kokoonpanomallin päätettiin toteuttaa Top-Down-mallinnusmenetelmällä, jossa komponentit luotiin kokoonpanon layout-mallin avulla. Kaikkia osamalleja ei kuitenkaan luotu layoutin pohjalta, koska mallin toiminta olisi muuttunut hitaaksi. Näiden osamallien kohdalla mallinnuksessa hyödynnettiin modulointia, joka mahdollistaa moduuliosien nopean vaihdettavuuden sekä muokattavuuden. Mallinnusvaiheen jälkeen mallille luotiin vielä erillinen käyttöliittymä. Käyttöliittymä toteutettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla, koska Excel oli kaikille yrityksen jäsenille jo entuudestaan tuttu työkalu. Lisäksi Excelin avulla mallille pystyttiin luomaan kehittyneempi logiikka, jonka jatkokehittäminen on suhteellisen helppoa.</p> <p>Työn tuloksena syntynyt mallia testattiin yhdessä säiliöprojektissa, jossa mallinnusvaiheesta suoriuduttiin noin kaksi tuntia nopeammin kuin aikaisemmin. Tämä ei kuitenkaan vastannut täysin asettamaani tavoitetta. Tavoite voidaan kuitenkin saavuttaa, jos kaikki säiliössä käytettävät komponentit saadaan parametrisoitua. Jatkossa mallin avulla on myös mahdollista parametrisoida valmistuskuvat, mikä tehostaisi suunnitteluprosessia huomattavasti.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
3D-mallintaminen, parametrisointi, modulointi, varastointisäiliö, API 650		
Muut tiedot		



Author(s) SIRONEN, Toni	Type of publication Bachelor's	Date 29.05.2011
	Pages 50	Language Finnish
	Confidential () Until	Permission for web publication (X)
Title THE PARAMETERIZATION OF THE STORAGE TANK'S 3D MODEL BASED ON API 650 STANDARD		
Degree Programme Machine and production engineering		
Tutor(s) SÄLLINEN, Pekka, Senior Lecturer LUOSMA, Petri, Senior Lecturer		
Assigned by Karibu Oy VAINIO, Tomi, Project Manager		
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to design a parametric assembly model of a storage tank based on API 650 standard. This thesis was commissioned by Karibu Oy where the designing process included unproductive designing. The commissioner wanted to increase the productivity of their designing process by parameterization. The second objective was to reduce defects made during the designing process and unify the tank designing methods between individual designers in the company.</p> <p>The 3D modeling was performed by AutoDesk Inventor 2010, the most commonly used designing software in the company. The first phase of the modeling process included learning about the previously designed models and API 650 standard. These formed the knowledge-base used in this project. In the next phase the possibilities and limitations of the designing program and modeling methods were studied. The outcome of this study was to design the parametric model by using the Top-Down modeling method. In this method part models were created generally from the tank assembly's layout model. However, the method was not applied to all submodels, because the slowing down of the function. These models were created with modularization enabling the rapid replacing and modifying of the module parts. After the modeling phase a separate user interface were created by Microsoft Excel, because its recognizability among the company's designers. Excel allowed creating more advanced logic and relatively easy developing possibilities.</p> <p>The model created in this project was tested in one tank project. The modeling was done about two hours faster than previously. The target time was not achieved. However, it is possible to accomplish this target if all the part models of the tank will be parameterized. In the future the parameterization can also be applied to production drawings.</p>		
Keywords 3D modeling, parameterization, modularization, storage tank, API 650		
Miscellaneous		

SISÄLTÖ

1	PARAMETRISOINTI 3D-MALLINNUKSEN APUNA.....	4
2	OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET	5
2.1	Aiheen valinta	5
2.2	Tavoitteet	6
2.3	Työn rajausta	7
3	NESTEEN VARASTOINTISÄILIÖ.....	8
3.1	API 650 -standardi	8
3.2	Säiliön komponentit	9
3.2.1	Pohjalevy	9
3.2.2	Vaippalevy	10
3.2.3	Kattokartio.....	11
3.2.4	Pohjakaivo	12
3.2.5	Vaipan jäykiste	12
3.2.6	Katon tukirakenne.....	13
3.2.7	Ankkurijalat	14
3.2.8	Maadoituskiinnitin	14
3.2.9	Yhteet	15
3.2.10	Miesluukut.....	16
3.2.11	Muut komponentit.....	17
4	3D-MALLINTAMINEN JA SIIHEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ.....	18
4.1	3D-mallintaminen.....	18
4.2	Parametrinen piirremallintaminen	19
4.3	Top-Down-mallinnus	20
4.4	Standardointi	21

4.5	Modulointi	22
5	KARIBU OY:N SÄILIÖNMALLINNUSPROSESSI	23
5.1	Esitiedot	23
5.2	Mallinnusympäristö	24
5.3	Osien mallintaminen	24
5.4	Kokoonpanon rakentaminen	25
5.5	2D-piirustusten sekä polttokuvien tuottaminen	25
5.6	Osaluettelot	25
6	PARAMETRISEN SÄILIÖMALLIN LUOMINEN	26
6.1	Lähtötilanne	26
6.2	Lähtötilanteen kartoitus	27
6.3	Mallintaminen	29
6.3.1	Kokoonpanomallin layoutin luominen	29
6.3.2	Osamallien luominen layoutista	31
6.3.3	Muiden komponenttien luominen	34
6.4	Osatietojen parametrisointi	35
6.5	Mallin käyttöliittymän luominen	37
6.6	Testaaminen ja toiminta	43
7	YHTEENVETO	44
7.1	Tulokset	44
7.2	Tulosten arviointi	45
7.3	Jatkokehittäminen	46
7.4	Kokemukset opinnäytetyöstä	47

LÄHTEET.....	49
LIITTEET	50

KUVIOT

KUVIO 1. Säiliön pohjalevy	9
KUVIO 2. Säiliön vaippalevy	10
KUVIO 3. Säiliön kattokartio.....	11
KUVIO 4. Säiliön Pohjakaivo	12
KUVIO 5. Vaipan jäykisteen sijainti säiliön poikkileikkauskuvannossa	13
KUVIO 6. Säiliön maadoituskiinnitin	15
KUVIO 7. Tuuletusyhteen poikkileikkauskuvanto sekä osaluettelo.	16
KUVIO 8. Säiliön vaippaan sijoitettava miesluukku	17
KUVIO 9. Valmis säiliökokoonpanomalli	18
KUVIO 10. Modulointivaihtoehdot	23
KUVIO 11. Säiliökokoonpanon layout	30
KUVIO 12. Layout-mallin tietojen valinta ja osamalliin tuominen.	33
KUVIO 13. Kappalemallin luominen tuotua sketsiä pursottamalla	34
KUVIO 14. Mittalukujen valinta ja parametrisointi.....	36
KUVIO 15. Tietokenttien parametrisointi	37
KUVIO 16. Säiliökokoonpanon ohjaustaulukko	39
KUVIO 17. Vaippayhteiden paikoitustaulukko.....	40
KUVIO 18. Kattoyhteiden paikoitustaulukko	40
KUVIO 19. Tietojen kelpoisuuden tarkastamis -työkalu	41
KUVIO 20. Parametrien linkitys-taulukko	42
KUVIO 21. Ylivuotoyhteen ohjaustaulukko	43

1 PARAMETRISOINTI 3D-MALLINNUKSEN APUNA

Parin viime vuosikymmenen aikana 3D-mallintamisessa on otettu huomioon harppauksia. Kehitys on tuonut mukanaan täysin uusia työkaluja, jotka antavat suunnittelijalle paremmat edellytykset kappaleiden kolmiulotteiseen suunnitteluun. Uusien toimintojen avulla suunnittelijat pystyvät nykyään luomaan malleja, joiden mallintaminen aiemmin oli lähes mahdotonta. Kehitystä ovat osaltaan edistäneet suunnitteluohjelmien kehittyminen sekä yleistyminen suunnittelutoimistojen käytössä. Näiden lisäksi myös mallinnuksessa apuna käytettävät tietokoneet ovat kehittyneet todella paljon. Laitekapasiteetit ovat kasvaneet varsinkin muistien, prosessorien sekä muun tekniikan osalta. Tämän seurauksena myös automatisointi on alkanut yleistyä lähes kaikissa nykypäivän toiminnoissa. Koneet ovat osittain alkaneet jopa korvata ihmisen tekemää työtä, mutta kuinka automatisoituminen näkyy nykypäivän kolmiulotteisessa mallintamisessa?

Nykyiset mallinnusohjelmat sisältävät useita eri mahdollisuuksia luoda toistuvaan käyttöön suunnattuja malleja, joissa hyödynnetään suunnitteluohjelmien parametrasta pohjaa. Parametrusten mallien avulla puolestaan voidaan luoda osittain tai täysin automaattisia ratkaisuja, joiden avulla organisaatioiden mallinnusprosesseja on mahdollista tehostaa. Vaikka suunnitteluohjelmat ja suunnittelussa käytettävät laitteet ovatkin kehittyneet huomasti, niin usein niitä ei hyödynnetä täysipainotteisesti. Usein syy tähän ei kuitenkaan ole osaamattomuus tai tietotaidon puute, vaan nykypäivänä asetettavat tiukat aikarajat sekä resurssien vähyys. Tiukkojen aikataulujen johdosta ei suunnittelutoimistoissa ole aina mahdollista keskittyä ja panostaa mallintamisen kehittämiseen. Projektiluontoisissa tehtävissä pyritään mallintaminen esimerkiksi toteuttamaan mahdollisimman nopeasti, jotta työtehokkuus saataisiin säilytettyä. Pahimmissa tilanteissa ovat varsinkin pienet suunnittelutoimistot, joiden suunnittelutehtävät ovat pääasiassa kertaluontoisia, jolloin toistuvien mallien käyttäminen on usein mahdotonta. Näissä tilanteissa tulisi kuitenkin joskus pysähtyä miettimään parametrisoinnin ja automatisoinnin mahdollisuuksia, koska näillä toiminnoilla on mahdollista saada aikaan kustannustehokkaampi suunnitteluprosessi.

2 OPINNÄYTETYÖN TAUSTA JA TAVOITTEET

2.1 Aiheen valinta

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Karibu Oy, joka on konsultoiva insinööritoimisto. Yritys on perustettu vuonna 1987 ja, sen toimipiste sijaitsee Jyväskylässä. Yrityksen toimialueeseen kuuluvat rakennus-, teollisuus-, kone- ja ympäristötekniikka. Tällä hetkellä yrityksen toiminnan osuudesta noin 75 % on suunnittelua ja loppu jakautuu projektointiin, asennusvalvontaan sekä muihin toimintoihin. Karibu Oy tunnetaan varsinkin teollisuustekniikan monipuolisena asiantuntijana, jonka palveluja käyttävät myös mekaaninen puunjalostusteollisuus sekä metalli- ja elintarviketeollisuus. Asiakkaita ovat muun muassa Jyväskylän kaupunki ja Metso. Karibu Oy:n omia tuotteita ovat FreshWind -sumukostutusjärjestelmä sekä Taimer -toiminnanohjausjärjestelmä. (Karibu Oy 2012.)

Aloittaessani opinnäytetyöni syyskuussa 2011 Karibu Oy:n toimeksiannosta työn aiheeksi määritettiin API 650 -standardiin pohjautuvan nesteen varastointisäiliön mallin luominen Autodesk Inventor 2010 -ohjelmalla. Malli oli osa toimeksiantajayrityksen asiakkaan tilaamasta kokonaisuudesta, johon kuului useampi säiliökokoonpano. Työ sisälsi mallin luomisen lisäksi kokoonpano- ja levykuvien tuottamisen.

Työn edetessä aloin kuitenkin pohtia alun perin määritetyn aiheen sopivuutta opinnäytetyöksi, koska mielestäni työ ei sisältänyt tarpeeksi tutkimusta tai kehittämistä. Toimeksiannon ideahan oli suunnitella säiliökokoonpano, kuten se aina ennenkin oli suunniteltu. Tällöin opinnäytetyön arvo toimeksiantajalle olisi ollut ainoastaan kertaluontoinen, eikä siitä olisi saatu käytännön hyötyä jatkoa ajatellen. Niinpä aloin etsiä sopivampaa aihetta, joka palvelisi paremmin omaa oppimistani ja yrityksen tarvetta sekä täyttäisi opinnäytetyön kehitys- ja tutkimusluonteen vaatimukset.

Pohtiessani uutta työn aihetta jatkoin kuitenkin alkuperäisen työn toteuttamista aiemmin sovitun aikataulun mukaisesti. Marraskuun alussa sainkin alkuperäisen työn toteutusvaiheen valmiiksi, ja sen perusteella pystyin jo luomaan pienen käsityksen koko säiliömallinnusprosessista ja mahdollisista kehityskohteista.

Havaittuja kehityskohteita olivat esimerkiksi vanhojen mallien soveltumattomuus uudelleen käytettäväksi, suunnittelijoiden väliset mallinnustapojen erot sekä osittain puutteelliset mallitiedot. Nämä seikat johtivat siihen, että kokoonpanomallit jouduttiin usein mallintamaan alusta loppuun. Tämän johdosta yrityksen säiliömallinnusprosessi ei sisältänyt juurikaan tuottavaa suunnittelua. Tuottavaksi suunnitteluksi voidaan laskea ainoastaan mallintaminen, jota ei ole jo kertaalleen tehty.

Havaitsemani kehityskohteet olivat yrityksessä jo aiemmin tiedossa, mutta niiden ratkaisuun ei ollut ehditty puuttua ajan- ja resurssipuutteen johdosta. Mallien kokonaisvaltaisempaa uudelleenkäyttöä vierastettiin osittain siksi, että vanhojen kokoonpanojen pelättiin vahingoittuvan, jos malleja käytettäisiin useammassa eri projektissa.

Ratkaisukeinoksi esitin parametrissa säiliömallia, joka toimisi uusien mallinnettavien säiliökokoonpanojen perusrunkona. Yhteisen parametrin käyttäminen yhtenäistäisi suunnitteluprosessia eri suunnittelijoiden välillä sekä automatisoisi osaluetteloiden sekä mallien luomista. Automaation avulla vähennettäisiin suunnittelun aikana tehtävää tuottamatonta mallintamista, jolloin prosessin tuottavuutta saataisiin kasvatettua. Toimeksiantaja hyväksyi ehdotukseni, ja opinnäytetyön aihe vaihdettiin.

2.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Inventor 2010 -ohjelmalla parametrinen säiliömalli, jota käytettäisiin pohjamallina tulevilla säiliömallinnusprojekteilla. Mallin oli tarkoitus pohjautua API 650 -standardiin, mutta sen toiminta-aluetta tulisi voida laajentaa koskemaan esimerkiksi muita säiliöstandardeja. Mallin ohjaaminen piti puolestaan luoda helppokäyttöiseksi, eli käytettävyyden tuli olla yksiselitteistä

sekä varmatoimista. Tätä varten mallin ohjaaminen toteutettiin Microsoft Excel - taulukkolaskentaohjelmalla, joka on varmasti jokaiselle suunnittelijalle tuttu työkalu.

Mallin ensisijaisena tarkoituksena on nopeuttaa, yhtenäistää ja selkeyttää säiliönsuunnitteluprosessia sekä vähentää suunnitteluvirheiden määrää.

Parametrisen mallin avulla pyritään myös vähentämään tuottamattoman työn määrää suunnittelun aikana viemällä koko prosessia automaattisempaan suuntaan, millä puolestaan voidaan saada aikaan kustannussäästöjä.

2.3 Työn rajaus

Toimeksiantajan säiliöt mallinnetaan pääsääntöisesti joko EN -standardien tai API 650 -standardin mukaan. Periaatteessa opinnäytetyön pohjalta syntynyt malli olisi voitu luoda toimimaan näissä molemmissa säiliöstandardeissa, mutta päätimme yhdessä toimeksiantajan kanssa, että tässä vaiheessa työn tuli soveltua pelkästään API 650 -standardin mukaisille säiliömalleille.

Yksityiskohtaisemmassa rajauksessa päädyttiin siihen, ettei opinnäytetyön tuloksena syntyneen mallin ollut tarkoitus korvata suunnittelijaa. Käytännössä tällä tarkoitettiin sitä, että työn ei tarvinnut sisältää kaikkia standardin määritelmiä, rajoituksia ja reunaehtoja, jolloin suunnittelijalle jätettiin enemmän mahdollisuuksia mallin muokkaamiseen suunnitteluprosessin aikana. Opinnäytetyön pohjalta luotu malli ei siis ensisijaisesti vastaa esimerkiksi standardiin sisältyviin lujuuslaskelmiin, aineenvahvuuksiin, materiaaleihin, mittoihin tai muihin vaatimuksiin. Näiden tietojen hankkiminen ja käyttö jäävät edelleenkin suunnittelijan vastuulle. Luotu malli pohjautuikin lähinnä toimeksiantajan valmiisiin malleihin, jotka oli mallinnettu standardin määritelmien mukaisesti. Parametrisuudella haluttiin mahdollistaa lähinnä se, että suunnittelijan olisi jatkossa helpompaa siirtää standardin määritykset suoraan malliin. Näin ollen standardista oli tarkoitus lähinnä etsiä mitta-arvojen vaihteluvälit sekä kokoonpanon rakenteelliset vaatimukset, joiden rajoissa mallin haluttiin toimivan.

3 NESTEEN VARASTOINTISÄILIÖ

3.1 API 650 -standardi

API 650 on Amerikan öljyinstituutin luoma standardi, joka määrittelee nesteen varastointisäiliöiden suunnitteluun, valmistukseen, asennukseen, testaukseen sekä materiaaleihin liittyviä vaatimuksia ja normeja. Standardin viimeisin eli yhdestoista painos on julkaistu vuonna 2007, jonka jälkeen siihen on lähes vuosittain tehty päivityksiä, jotka ovat saatavilla erillisinä lisäosina. Lisäosissa käsitellään tiettyjä erityistilanteita, rakenteita ja olosuhteita, joita säiliön suunnittelussa ja valmistuksessa voi tulla vastaan. (API 650, 2007, 1-1.)

Vaikka standardi on suunniteltu lähinnä polttoöljyn varastointia varten, voidaan säiliöitä valmistaa myös muihin käyttötarkoituksiin. Tyypillisenä käyttökohteena voi olla esimerkiksi käyttöveden varastointi. (Vainio 2011.) Standardia käytetään kuitenkin pääsääntöisesti ainoastaan tilanteissa, joissa suunniteltavat säiliöt ovat

- avo- tai suljettukattoisia
- hitsattuja
- pystysuuntaisia
- lieriömäisiä
- maanpäällisiä

ja joissa sisäinen paine on alle 17,2 kPa (API 650, 2007, 1-1).

Standardia hyödynnettiin opinnäytetyön toteutusvaiheessa hyvin paljon, mutta standardiin perehtyminen haluttiin kuitenkin jättää raportin ulkopuolelle. Standardin sisältämien tarkkojen määritysten ja vaatimusten selvittely raportissa nähtiin tarpeettomana. Parametrimallin toiminnan kannaltakin oli tärkeämpää määrittää tiettyjä raja-arvoja sekä rakenteellisia ominaisuuksia eikä niinkään absoluuttisia mitta-arvoja.

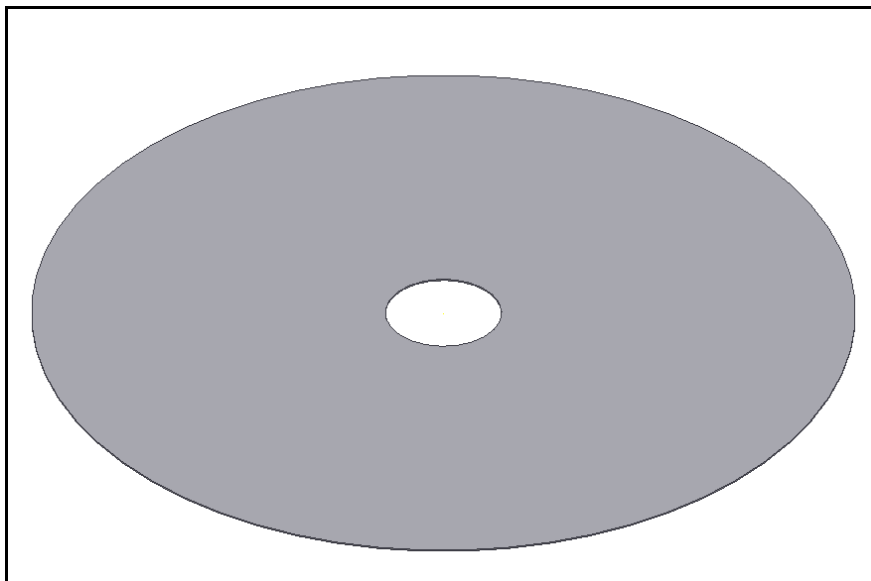
3.2 Säiliön komponentit

3.2.1 Pohjalevy

Pohjalevy (ks. kuvio 1) sijaitsee säiliökokoonpanon pohjalla joko suoraan maanpinnalla tai maanpinnalle rakennetun perustuksen päällä. Levy on ylhäältä katsottuna ympyrän muotoinen, ja siinä on yleensä reikä pohjakaivoa varten. Usein reikä sijoitetaan levyn keskelle, mutta joissain tapauksissa sijainti saattaa poiketa normaalitilanteesta. (Vainio 2011.)

Pohjalevyä ei yleensä pystytä valmistamaan pelkästään yhdestä polttoleikatusta levystä, koska säiliöiden halkaisijat ovat lähes poikkeuksetta suurempia kuin valmistajan käyttämät levykoot. Tämän vuoksi pohjalevy koostuu vähintään kahdesta erillisestä polttoleikatusta levystä, jotka liitetään toisiinsa hitsaamalla. (Vainio 2011.)

Levyn paksuus on useimmiten 6 - 12 millimetriä ja ulkohalkaisijan on normaalisti noin 3000 - 12000 millimetriä. Nämä arvot ovat työn tilaajan käyttämiä arvoja, mutta standardi mahdollistaa paljon suurempienkin pohjalevyjen valmistuksen. (Vainio 2011.)

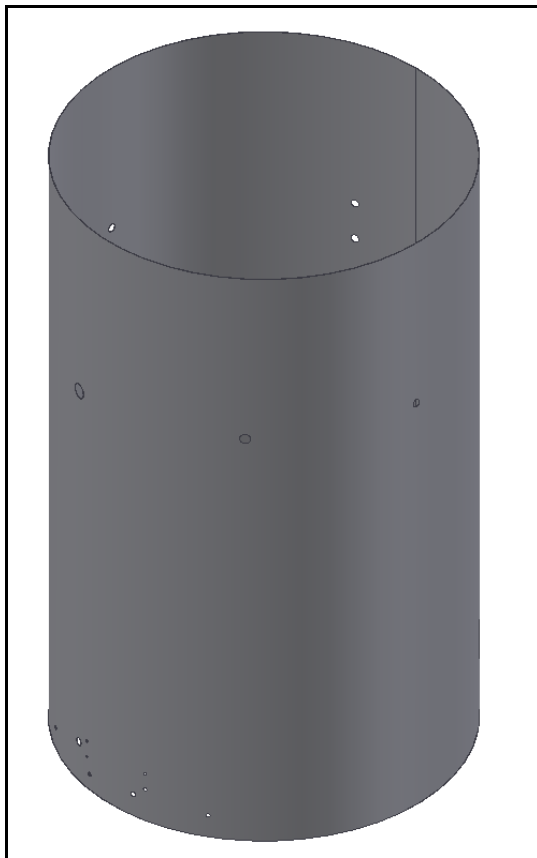


KUVIO 1. Säiliön pohjalevy

3.2.2 Vaippalevy

Vaippalevy (ks. kuvio 2) kokoonpannaan pohjalevyn päälle, johon se liitetään hitsaamalla. Pohjalevyn tapaan myös vaippalevy koostuu useasta eri polttoleikatusta levystä, jotka hitsataan yhteen. Levyt ovat suorakaiteen muotoisia, ja niiden paksuudet ovat usein 5 - 12 millimetriä. Polttoleikkauksen jälkeen levyt taivutetaan vastaamaan haluttua säiliön kaarevuussädettä, jonka perusteella vaipan lieriön ulkohalkaisija määräytyy. (Vainio 2011.)

Valmiiksi taivutetuista levyistä muodostetaan niin sanottuja levykerroksia, jotka lopulta kasataan päällekkäin. Lopputulokseksi saadaan täysimittainen lieriönmuotoinen vaippakokoonpano, jonka korkeus on noin 2500 - 12000 millimetriä ja ulkohalkaisija noin 3000 - 12000 millimetriä. Nämäkin arvot ovat valmistajan määrittelemiä, mutta standardi sallii myös suurempien arvojen käyttämisen. (Vainio 2011.)

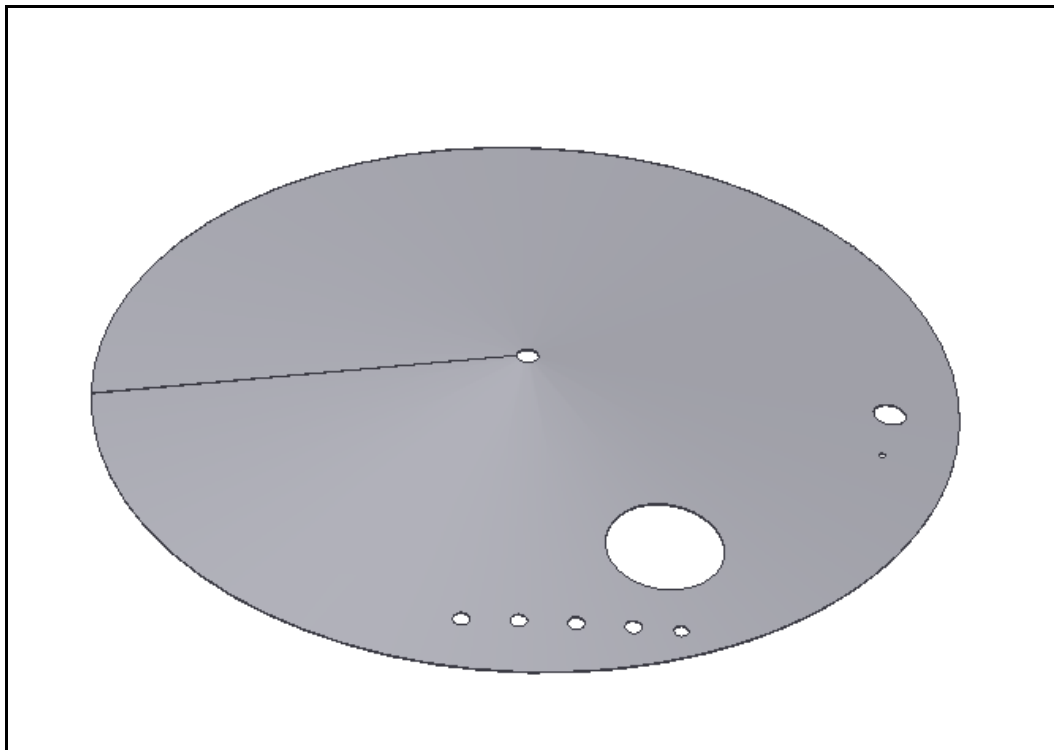


KUVIO 2. Säiliön vaippalevy

3.2.3 Kattokartio

Kattokartio (ks. kuvio 3) asennetaan säiliökokoonpanon päälle, jolloin katto, vaippa sekä pohjalevy muodostavat yhdessä suljetun ja vesitiiviin tilan. Kattokartiota ei kuitenkaan aina liitetä suoraan vaipan yläpintaan, vaan sen liittämiseen voidaan käyttää erillistä vaipan jäykistettä. (Vainio 2011.) Vaipan jäykisteestä kerrotaan tarkemmin luvussa 3.2.5.

Muodoltaan kattolevy on kartio, jonka kärki osoittaa sivulta katsottuna ylöspäin. Kartion ulkohalkaisija on tyypillisesti 3000 - 12000 millimetriä ja paksuus 5 - 8 millimetriä. Katolle määritetään myös kaltevuusaste, jonka johdosta katto saa kartiomaisen muotonsa. Kattolevyn kokoonpano toteutetaan kuten pohjalevykin kokoonpano. (Vainio 2011.)

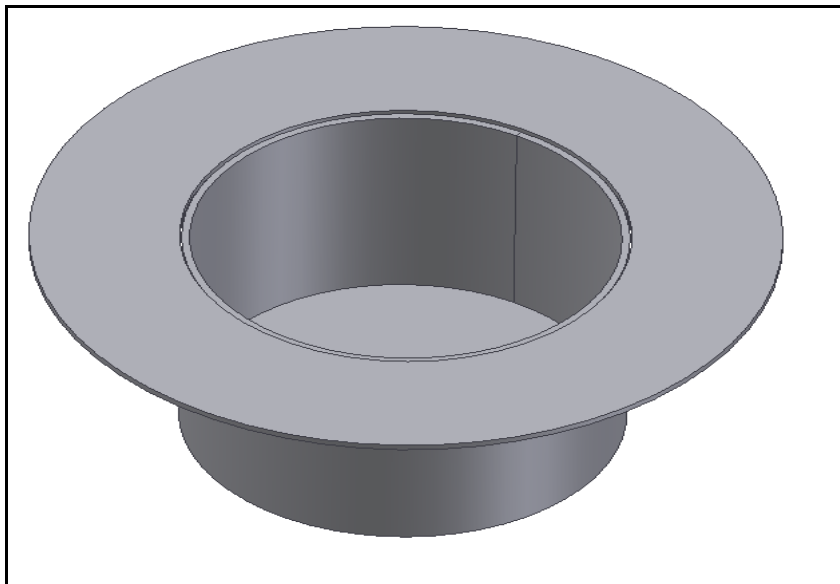


KUVIO 3. Säiliön kattokartio

3.2.4 Pohjakaivo

Pohjakaivo (ks. kuvio 4) asennetaan pohjalevyyn leikattuun reikään. Pohjakaivon tehtävänä on kerätä säiliön pohjalle kasautuneet epäpuhtaudet, jotka imetään säiliöstä ulos imuyhteen kautta. Epäpuhtauksilla käsitetään kaikkia haitallisia säiliöön päässeitä kiinteitä partikkeleja tai säiliön sisään kondensoitunutta vettä. Varsinkin polttoöljyn varastointiin tarkoitetuissa säiliöissä on erittäin tärkeää, että säiliön pohjalle kondensoitunut vesi pystytään helposti poistamaan säiliöstä. (Vainio 2011.)

Standardi määrittää pohjakaivon koolle ja kokoonpanorakenteelle useampia eri vaihtoehtoja, mutta opinnäytetyöhön sisällytettiin vain yksi rakennetyyppi yhdellä koolla. Rajaukseen oli syynä se, että toimeksiantaja käyttää pääsääntöisesti yhtä kokoonpanorakennetta, joka sisältää pääty-, pohja- ja seinämäosan. Kaikki komponentit pohjautuvat toimeksiantajan pohjakaivon vakiopiirustukseen. (Vainio 2011.)



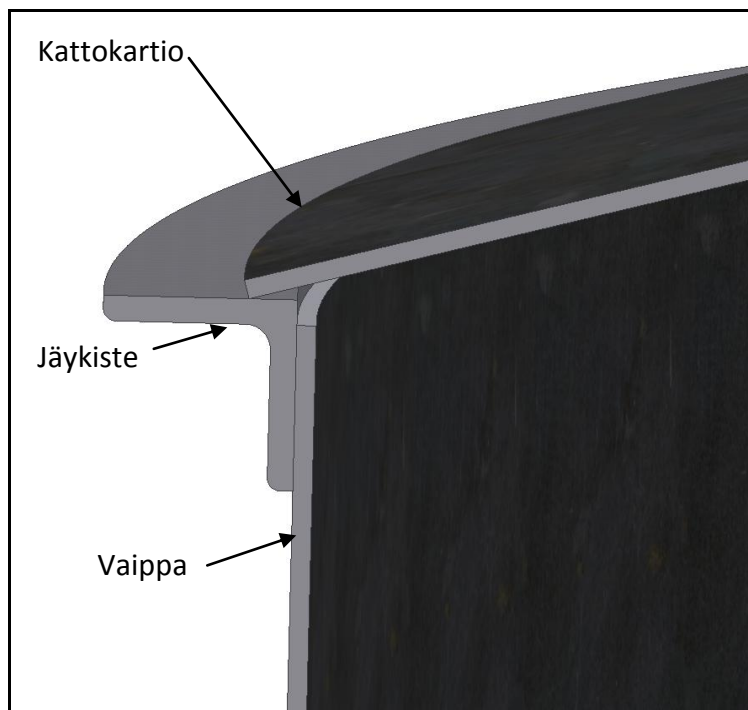
KUVIO 4. Säiliön Pohjakaivo

3.2.5 Vaipan jäykiste

Vaipan jäykisteen tarkoituksena on estää säiliön vaipan lommahtaminen. Samalla jäykiste toimii katon ja vaipan yhdistävänä rakenteena, joka helpottaa katon

asettamista kokoonpanovaiheessa. Jäykisteenä voidaan käyttää esimerkiksi L-profiilia, joka taivutetaan säiliön ulkohalkaisijan mukaan. Tämä sijoitetaan vaipan yläosaan siten, että L-profiili toinen sivu hitsataan vaippaan ja toinen sivu kattokartion alareunaan. Näin ollen jäykiste yhdistää säiliön vaipan ja katon toisiinsa koko säiliön ulkohalkaisijan kaaren matkalta. (Vainio 2011.)

Jäykisteen kokoluokka määräytyy pääasiassa säiliön ulkohalkaisijan mukaan, mutta tarpeen vaatiessa säiliötä voidaan jäykistää myös muilla tuuli- ja puristusjäykisteillä. Standardi tosin määrittelee useampia eri vaihtoehtoja, kuinka katon ja vaipan yhdistäminen toisiinsa voidaan toteuttaa. (Vainio 2011.) Kuviossa 5 on esitetty jäykisteen esimerkkisijainti säiliön poikkileikkausprofiilin avulla.



KUVIO 5. Vaipan jäykisteen sijainti säiliön poikkileikkauskuvannossa

3.2.6 Katon tukirakenne

Katon tukirakenne asetetaan suoraan kattokartion alapuolelle jäykistämään ja tukemaan kattorakennetta sekä säiliön vaipan yläosaa. Tukirakenne lisätään säiliökokoonpanoon ainoastaan tilanteissa, joissa kattokartio ei yksin pysty

vastaamaan siihen vaikuttaviin voimiin. Tällaisia tilanteita syntyy esimerkiksi silloin, kun säiliön ulkohalkaisija on suuri, tai kun kattoon kohdistuu suuria ulkoisia voimia, kuten esimerkiksi lumikuorman aiheuttama voima. Voimat pyrkivät painamaan kattorakennetta alaspäin, jolloin katto saattaa lommahtaa. (Vainio 2011.)

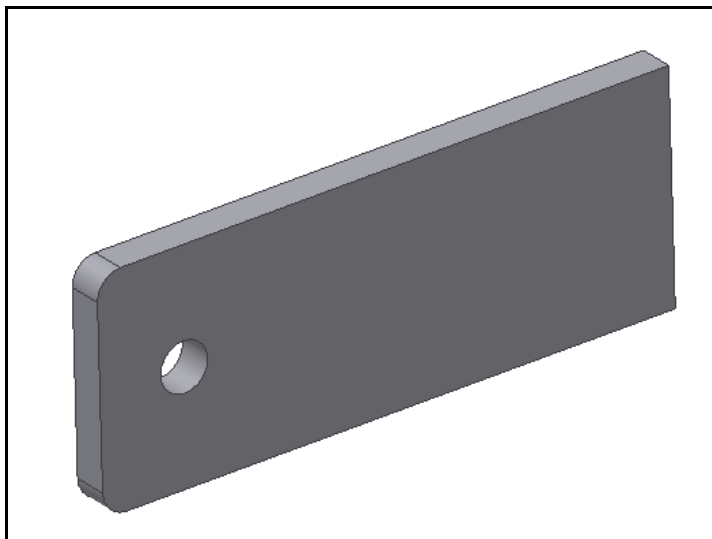
Yrityksessä mallinnetuissa säiliökokoonpanoissa käytetään pääsääntöisesti kahta eri tukirakennetyyppiä, joista ainoastaan toinen sisällytettiin opinnäytetyöhön. Rakenne koostuu yhteensä neljästä eri komponentista, joiden lukumäärät ja mitat puolestaan määräytyvät säiliön koon sekä säiliöön vaikuttavien voimien mukaan. (Vainio 2011.)

3.2.7 Ankkurijalat

Ankkurijalkojen tehtävänä on kiinnittää säiliö perustukseen, jotta säiliö pääse liikkumaan tai kaatumaan ulkoisten voimien vaikutuksesta. Jalat sijoitetaan säiliön vaipan ympärille tasaisin välein, jotta tuenta perustukseen olisi mahdollisimman tasainen. Ankkurointi tulee suunnitella tarkkaan varsinkin alueilla, joissa tuulennopeudet tai maanjäristykset ovat voimakkaita. Ankkurointia ei kuitenkaan tarvitse erikseen toteuttaa, jos kokoonpanon oma massa riittää säiliön paikallaan pitämiseen. (Vainio 2011.)

3.2.8 Maadoituskiinnitin

Maadoituskiinnittimien (ks. kuvio 6) tehtävänä on johtaa säiliökokoonpanolle haitalliset sähköstaattiset varaukset maahan antistaattisten vaijereiden kautta. Sähköstaattisen varauksen synnyttäjä voi olla esimerkiksi ukkosen synnyttämä salama, joka iskee säiliöön. Iskun johdosta säiliön rakenne tai varastoitava neste saattavat vaurioitua, jos maadoitusta ole tehty vaatimusten mukaisesti.

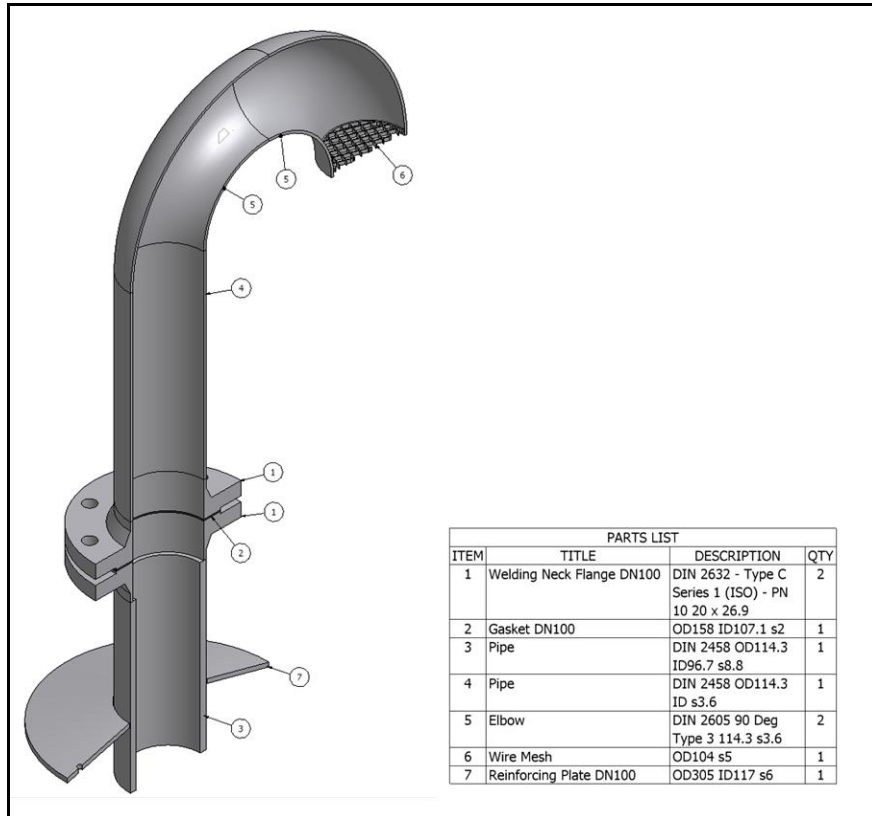


KUVIO 6. Säiliön maadoituskiinnitin

3.2.9 Yhteet

Useimmiten yhteillä tarkoitetaan putkiliitäntöjä, jotka ovat suoraan yhteydessä säiliön sisällä varastoitavaan nesteeseen. Näiden avulla voidaan varastoitavaa nestettä siirtää joko säiliön sisään tai sieltä ulos. Perusyhdetyyppejä ovat täyttö-, imu-, tyhjennys-, tuuletus- ja ylivuotoyhteet. Ylivuotoyhteellä voidaan esimerkiksi estää säiliön liiallinen täyttyminen, jotta säiliö ei pääse hajoamaan ylimääräisen nesteen aiheuttaman paineen vuoksi. Tankkiin on mahdollista lisätä myös erillisiä lämmitys-, tarkastus- ja seurantayhteitä, joiden kautta nesteen korkeutta sekä lämpötilaa pystytään seuraamaan ja säätelemään. (Vainio 2011.)

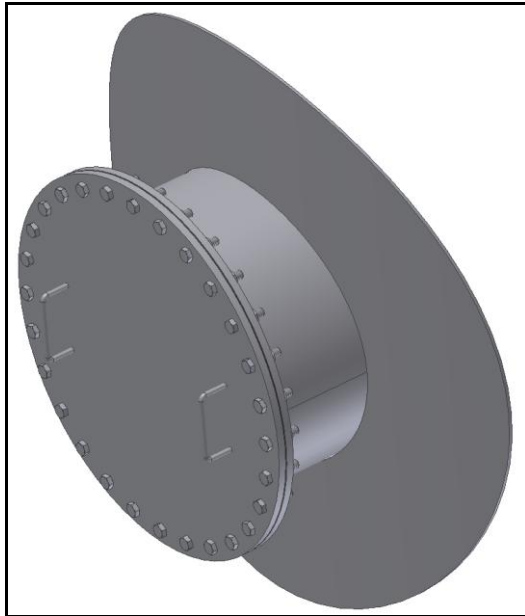
Rakenteeltaan yksinkertaisimmat yhteet sisältävät ainoastaan putken, joka on hitsattu säiliön vaippaan tai kattoon tehtyyn aukkoon. Yleisimmin yhde rakentuu kuitenkin useammista putkista, laipoista, tiivisteistä, putkikäyristä sekä vahvikelevystä. (Vainio 2011.) Kuviossa 7 on esitetty poikkileikatun tuuletusyhteen rakennekuva sekä osaluettelo.



KUVIO 7. Tuuletusyhteen poikkileikkaukuvanto sekä osaluettelo

3.2.10 Miesluukut

Miesluukkujen (ks. kuvio 8) tarkoituksena on mahdollistaa kulkuyhteydet säiliön sisään esimerkiksi tarkastustoimenpiteissä. Luukkuja voidaan sijoittaa säiliön vaippaan tai kattoon asiakkaan toiveiden mukaisesti. Katolle sijoitettu luukku on lähes aina tikkaiden tai rappusten läheisyydessä, jotta ylimääräinen katolla liikkuminen olisi mahdollisimman vähäistä. Kulkuyhteyden koko ja mitat määritellään toimeksiantajan vakiopiirustuksessa, jonka mukaan miesluukut valmistetaan. Standardi sisältää myös eri kokoluokan miesluukkuja, joiden koot vaihtelevat lähinnä säiliössä vallitsevan hydrostaattisen paineen mukaan. (Vainio 2011.)



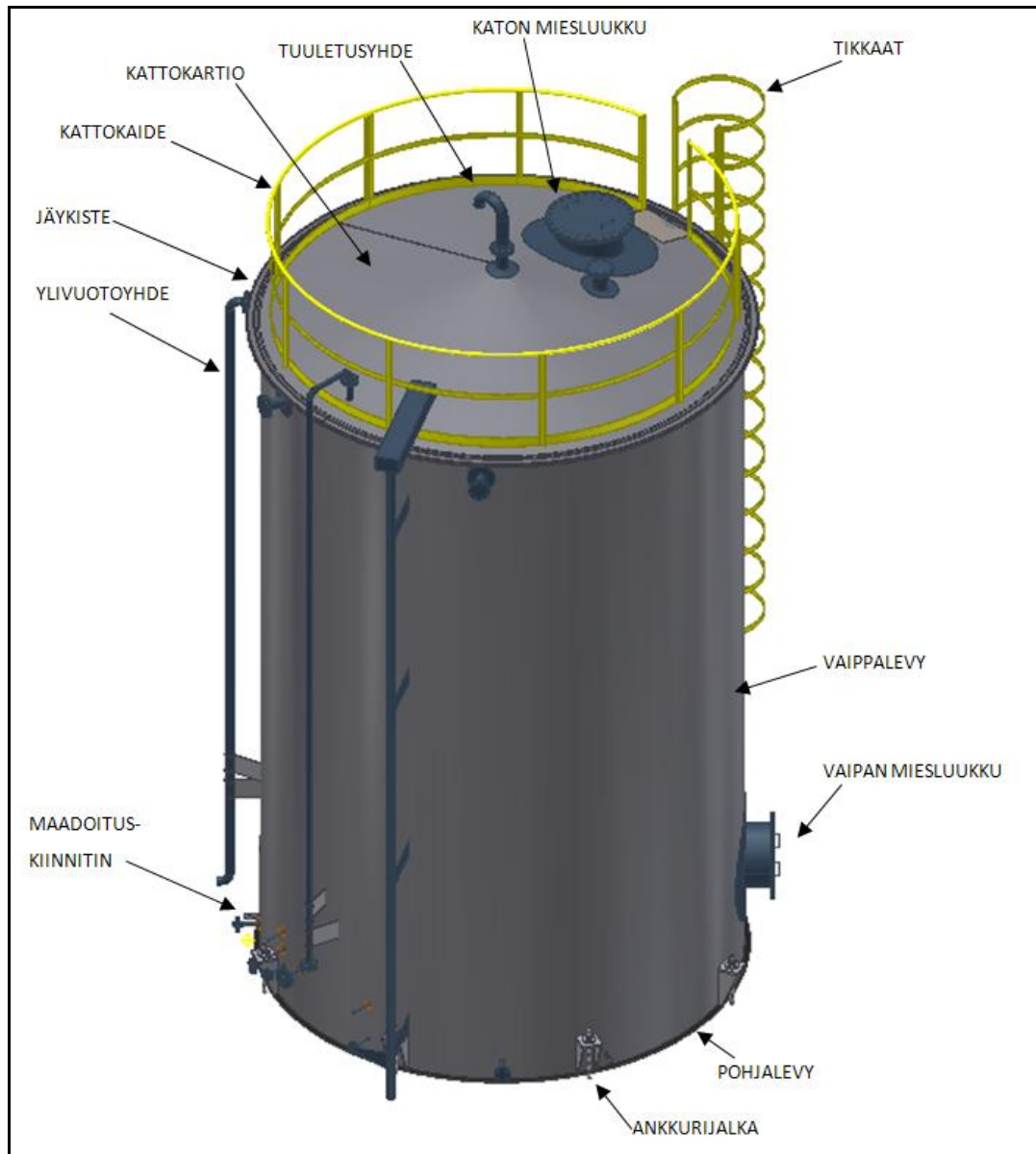
KUVIO 8. Säiliön vaippaan sijoitettava miesluukku

3.2.11 Muut komponentit

Valmiissa säiliökokoonpanossa (ks. kuvio 9) on tyypillisesti noin 30 - 50 kappaletta erilaisia osakokoonpanoja, jos kaikki yhdytyypit otetaan huomioon. Tämän johdosta opinnäytetyössä ei kaikkia komponentteja pystytty erikseen käsittelemään.

Tarkastelun ulkopuolelle jätettiin esimerkiksi sellaisia komponentteja, kuin

- vaipan eristeet
- katon eristeet
- miesluukkujen eristeet
- eristeiden tukirakenteet
- muut tukirakenteet
- lämmityspotket
- tikkaat
- portaat
- pinnankorkeusmittari sekä
- muut jäykisteet.



KUVIO 9. Valmis säiliökokoonpanomalli

4 3D-MALLINTAMINEN JA SIIHEN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ

4.1 3D-mallintaminen

3D-mallintaminen tarkoittaa todellisen tuotteen tai kappaleen kolmiulotteista kuvausta, josta yleisesti käytetään nimeä malli. Mallille on ominaista se, että sen fysikaaliset ja mekaaniset ominaisuudet vastaavat mallinnettavaa kohdetta.

Mallinnus toteutetaan usein siten, että mallit vastaavat mahdollisimman paljon todellisia tuotteita. Täysin todellisuutta vastaavien mallien luominen ei kuitenkaan ole 3D-mallinnuksen ensisijainen tarkoitus, vaan tuotteen valmistukseen tarvittavien työkuvien tuottaminen. Työkuvien tuottamiseen ei tosin aina vaadita 3D-malleja, vaan toteutus voidaan tehdä myös 2D-piirustusohjelmilla. Kolmiulotteisia malleja käyttämällä saadaan useita etuja verrattuna 2D-piirustuksiin, kuten

- parempi visuaalisuus (kolmiulotteinen näkymä)
- parempi muunneltavuus (parametrisuus)
- fysikaaliset ominaisuudet (esimerkiksi tiheys ja massa)
- lujuus- ja liiketarkastelujen mahdollisuus
- tehokkaampi työkuvien luominen ja
- osien helpompi yhteensovittaminen.

Varsinkin nykypäivänä on ensisijaisen tärkeää tiedostaa, mitkä ominaisuudet ovat tuotteen toiminnan kannalta oleellisia mallintaa ja mitkä eivät. Valintaa joudutaan tekemään, koska nykyään suunnittelijoilta odotetaan entistä tehokkaampaa suunnittelua, jotta tuote saadaan mahdollisimman nopeasti markkinoille (Tuhola & Viitanen 2008, 33.)

3D-mallinnusprosessi voidaan jakaa kolmeen eri osa-alueeseen, jotka vaaditaan lopputuotteen tuottamiseen. Nämä osa-alueet ovat esitiedot, osamallit ja kokoonpano. Prosessin alussa suunnittelijan tulee hankkia tarvittavat esitiedot suunniteltavasta kappaleesta, jotta mallin luominen olisi mahdollista. Kun suunnittelija on saanut hankittua vaadittavat esitiedot, voidaan osamallien luomisvaihe aloittaa. Osamallit mallinnetaan aiemmin saatujen esitietojen mukaan, minkä jälkeen malleista luodaan vaadittua lopputuotetta vastaava kokoonpano. (Tuhola & Viitanen 2008, 54.)

4.2 Parametrinen piirremallintaminen

3D-mallintamisen yhteydessä parametrisuudella tarkoitetaan käytännössä sitä, että mallin geometrian muokkaaminen ei ole sidoksissa suunnitteluvaiheeseen. Tällöin ennalta luotuun geometriaan sidoksissa olevaa mittaa voidaan esimerkiksi muuttaa

suunnittelun myöhemmässä vaiheessa. Mallin muuttaminen toteutetaan mitta-arvojen lukuja muuttamalla, minkä johdosta myös mallin geometria muuttuu. Toisin sanoen parametrisuus mahdollistaa mallin geometrian ohjaamisen pelkästään numeerista arvoa muuttamalla, jolloin itse kappaleen geometriaa ei tarvitse lähteä muuttamaan. (Hietikko 2007, 23.)

Piirteellä puolestaan tarkoitetaan kappaleen muotoon vaikuttavaa geometrista määrittystä. Piirre on fyysiseen kappaleeseen kuuluva osa, jota voidaan kuvata jollain yleisellä muodolla. Lisäksi piirteellä tulee olla ennustettavia ominaisuuksia, ja sen olemassaolo on suunnittelun kannalta merkityksellinen. Yleisimpiä mallinnuksessa käytettäviä piirretyyppejä ovat esimerkiksi reiät, viisteet, pyöristykset, ulkonemat, urat, upotukset ja taskut. (Laakko, Sukuvaara, Borgman, Simolin, Björkstrand, Konkola, Tuomi & Kaikonen 1998, 83.) Myös mallinnettavan kohteen aihio voidaan luokitella kappaletta määrittäväksi peruspiirteeksi (Hietikko 2007, 23).

Parametrisen piirremallintamisen lähtökohtana, kuten muissakin 3D-mallinnusmenetelmissä, on luoda kohdekappaleesta mahdollisimman todenmukainen kolmiulotteinen geometrinen kuvaus. Tässä mallinnustavassa todellista kappaletta kuvaava malli rakennetaan joukosta erilaisia piirteitä. Tavallisesti mallin rakentaminen aloitetaan kappaleen aihiota kuvaavalla peruspiirteellä. Tämän jälkeen aihiota muokataan erilaisilla lisäpiirteillä, kunnes malli on saanut lopullisen muotonsa sekä halutut ominaisuudet. Mallintamisen aikana piirteet tallentuvat suunnitteluohjelman piirrepuuhun, josta mallin suunnitteluhistoria on helposti nähtävissä. (Hietikko 2007, 23.)

4.3 Top-Down-mallinnus

Top-Down-mallinnuksella tarkoitetaan kokoonpanomallien mallinnustapaa, jossa komponenttien luodaan suoraan kokoonpanotilassa. Top-Down-mallinnustavan vastakohta on Bottom-Up-mallinnustapa, jossa kokoonpanon komponentit luodaan aluksi yksittäisosina, minkä jälkeen ne tuodaan kokoonpanoon. Top-Down-

mallinnusmenetelmän etuina ovat kokoonpanomallin keveys, osamallien paikoittamisen helppous sekä soveltuvuus parametrisoimiseen.

4.4 Standardointi

Standardoinnissa on tarkoituksena luoda yhdenmukainen ratkaisu tietyn toistuvan asian toteuttamiseen. Standardointi voi koskea esimerkiksi tuotetta, menettelytapaa tai jopa yritystä. Standardointi jaetaan kolmeen eri tasoon, jotka ovat alimman tason, keskitason ja ylimmän tason standardoinnit. Alimmalla tasolla standardointi koskee lähinnä käytettäviä materiaaleja, tarvikkeita tai suunnitteluohjeita. Keskitasolla standardisoidaan komponentteja sekä niiden valintaperusteita. Ylimmällä tasolla puolestaan luodaan suunnittelustandardin mukainen standardituote. (Laurila 1987, 4.)

Standardoinnilla pyritään kehittämään yrityksen kilpailukykyä sekä kannattavuutta, vakioimalla valmistettavia tuotteita. Tuotteet jaetaan neljään kategoriaan niiden standardointiasteiden mukaisesti. Ensimmäisellä tasolla ovat täysin standardisoidut tuotteet, joihin ei voida tehdä muutoksia. Toisella tasolla ovat modulaariset tuotteet, joissa lopullinen tuote määräytyy vakioitujen moduulien variaatioista. Kolmannen tason tuote on puolestaan osittain vakioitu, ja sen ympärille voidaan räätälöidä asiakkaan haluamia muutoksia. Neljännellä tasolla tuote on kokonaan tapauskohtaisesti räätälöity. Tuote rakentuu kuitenkin osittain standardikomponenteista. (Laurila 1987, 5–6.)

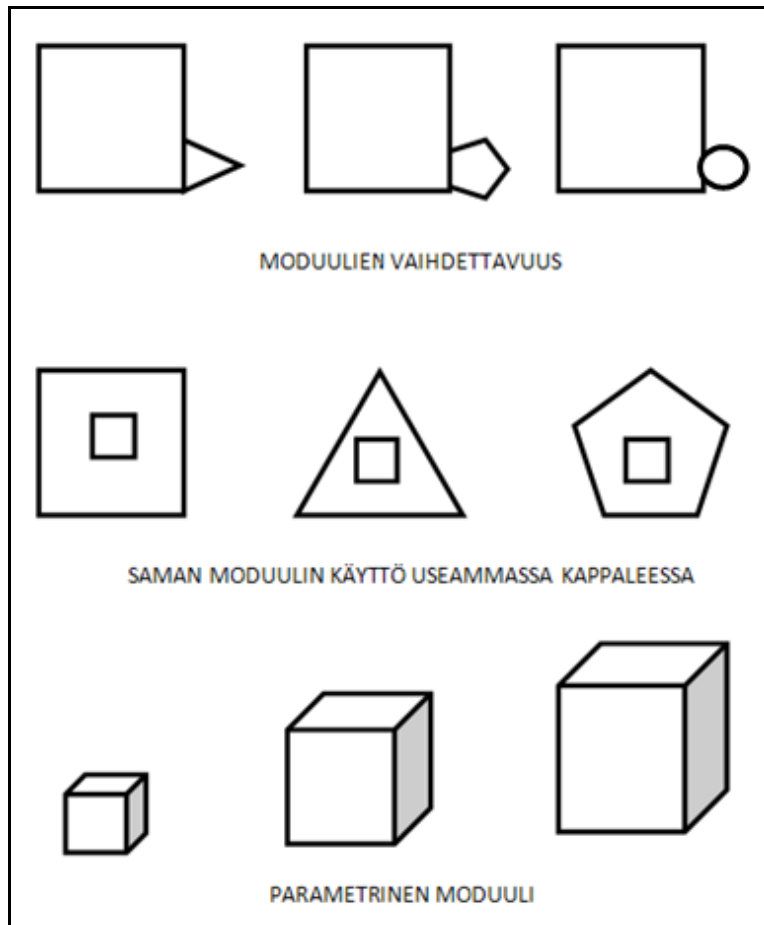
Standardoimisen merkitys 3D-mallinuksessa on suuri, koska standardiosien käyttäminen vakioi, yksinkertaistaa ja nopeuttaa mallin rakentamista. Vakioidut komponenttikirjastot mahdollistavat kokoonpanossa tarvittavien osamallien nopean löytymisen, jolloin mallinnusprosessi tehostuu. Vakioikomponenttien käyttäminen vähentää myös suunnitteluvirheiden määrää, koska ennalta luotuja malleja ei voida jälkikäteen enää muuttaa. Tällöin myös mallista saatavat tiedot ovat lähtökohtaisesti aina oikein.

4.5 Modulointi

Moduloinnilla tarkoitetaan tuotteen jakamista yksittäisiin kokonaisuuksiin, joita kutsutaan moduuleiksi. Näille moduuleille määritetään tietyt vakiodut rajapinnat, joilla ne liitetään suurempaan kokonaisuuteen. Näin ollen tuote voidaan hajottaa pienempiin kokonaisuuksiin, joita voidaan esimerkiksi vaihdella keskenään asiakkaan vaatimusten mukaisesti. (Automaattinen kokoonpano 2005.)

Moduloinnissa pyritään luomaan tuotevariantteja, joiden fyysiset sekä toiminnalliset rakenteet saadaan samankaltaisiksi. Moduloinnin seurauksena tuotteen standardiosien määrä kasvaa. Tämä helpottaa tuotteen hallintaa, koska tehtävät varioinnit koskevat ainoastaan tuotteen tiettyä osaa. Lisäksi tuotteen modulaarisen rakenteen ansiosta suunnittelua voidaan jakaa useamman suunnittelijan kesken, koska moduulit rakennetaan toisistaan riippumattomiksi. Tämän johdosta tuotekehitysaikaa saadaan lyhennettyä yhdessä tuotteen läpimenoajan sekä muutosten tekemiseen kuluvan ajan kanssa. (Automaattinen kokoonpano 2005.)

Tuotteen modulointi voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Kuviossa 10 esitellään kolmea eri modulointivaihtoehtoa. Moduulien vaihdettavuusperiaatteella tuote rakennetaan siten, että tuotteen perusrakenne pidetään samana, mutta siihen liitettyä moduulia tai moduuleja vaihdellaan. Toisessa rakennevaihtoehdossa samaa moduulia käytetään useammassa eri perusrakenteessa, jolloin yhden moduulin muuttuminen muuttaa kaikkia tuoterakenteita. Kolmas modulointivaihtoehto on moduulin parametrisoiminen, jossa moduulin kokoa voidaan muuttaa parametrisuuden avulla. (Sarinko 1999, 36–37.) Opinnäytetyön kokoonpanomallissa hyödynnettiin moduulien parametrisuutta sekä vaihdettavuutta. Moduloinnin tapauskohtaisesta hyödyntämisestä kerrotaan tarkemmin opinnäytetyön luvussa 6.



KUVIO 10. Modulointivaihtoehdot (Sarinko 1999, 37, muokattu)

5 KARIBU OY:N SÄILIÖNMALLINNUSPROSESSI

5.1 Esitiedot

Toimeksiantajan suunnitteluprosessin ensimmäisessä vaiheessa suunnittelija hankkii säiliömallinnukseen tarvittavat esitiedot. Tiedot saadaan pääsääntöisesti joko valmistajalta tai työn tilaajalta heti projektin alussa. Lähtötiedot ovat koottuna yhdessä Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla tuotetussa esitietolomakkeessa, joka perustuu API 650 -standardin mallipohjiin.

Lomake sisältää tietoja materiaaleista, päämitoista, positioista, komponenteista, kokoamispaikasta, alueen tuulikuormasta sekä seismisyydestä. Tiedot on koottu

lomakkeeseen siten, että ainoastaan numeerisia lähtöarvoja muuttamalla mallinnukseen tarvittava raakatieto välittyy suoraan suunnittelijalle.

Pelkän esitietolomakkeen avulla ei säiliön mallintamista kuitenkaan voida toteuttaa, siksi suunnittelussa käytetään apuna myös valmiita mallikuvia. Mallikuvien lisäksi toimeksiantajalla on olemassa useita vakioitujen komponenttien valmistuspiirustuksia, joiden perusteella esimerkiksi kattokaiteet, tikkaat, ankkurijalat sekä miesluukut mallinnetaan.

5.2 Mallinnusympäristö

Suunnitteluprosessin seuraavassa vaiheessa suunnittelija luo mallinnusympäristön. Mallinnusympäristöllä tässä tapauksessa tarkoitetaan lähinnä projektin luomista mallinnusohjelmaan sekä verkkolevyille, jonne mallit tallennetaan. Projektin kansiorakenne luodaan toimeksiantajayrityksessä käytettävän laatukäsikirjan mukaisesti ja säiliökokoonpanolle luodaan oma ohjelmakohtainen projektitiedosto. Projektitiedostolle määritetään yhteys Inventorin omaan vakiokomponenttien tietokantaa eli Content Centeriin sekä toimeksiantajan omaan osakirjastoon. Tämän jälkeen kirjastoista voidaan hakea valmiiksi mallinnettuja vakio-osia tai mallinnusohjelmassa olevia standardiosia. Valmiiden kirjastojen käytöllä helpotetaan ja nopeutetaan itse suunnittelutyötä.

5.3 Osien mallintaminen

Mallinnusvaiheessa suunnittelija luo tarvittavat 3D-mallit valmistettavasta säiliökokoonpanosta, jotta kokoonpano- ja valmistuskuvat pystytään tuottamaan. Mallinnusvaiheessa suunnittelija pyrkii käyttämään mahdollisimman paljon aiemmin luotuja malleja sekä suunnitteluohjelman standardiosia, jotta olemassa olevia malleja ei vahingossa mallinneta uudelleen.

Vanhojen mallien käyttäminen nopeuttaa huomattavasti mallinnusvaiheeseen kuluvaa aikaa, mikä puolestaan nopeuttaa koko suunnitteluprosessia. Näiden mallien uudelleenkäyttäminen on kuitenkin tehokasta ainoastaan silloin, kun ne ovat

helposti löydettävissä sekä liitettävissä uuteen kokoonpanoon. Jos nämä ehdot eivät toteudu, joudutaan mallit luomaan erikseen alusta loppuun.

5.4 Kokoonpanon rakentaminen

Kokoonpanovaiheessa valmiiksi mallinnetuista osista sekä vakio- ja standardiosista rakennetaan lopputuotetta vastaava kokoonpanomalli. Mallinnustapana käytetään Bottom-Up-mallintamista, jossa yksittäiset komponentit luodaan valmiiksi ennen kokoonpanovaihetta. Lopulta valmiit komponentit tuodaan pääkokoonpanoon, missä ne sidotaan toisiinsa kokoonpanon sidosehdoilla eli mate-sidoksilla.

Lähes poikkeuksetta säiliökokoonpanot luodaan aina kokonaan uudelleen, koska vanhat kokoonpanomallit eivät yleensä sovellu suoraan uuteen projektiin. Tämä johtuu siitä, että aiemmin mallinnettuja kokoonpanoja ei ole suunniteltu uudelleenkäyttöä silmällä pitäen, joten mallien muuntelu on työlästä. Lisäksi vanhojen säiliömallien tarkastaminen ja läpikäyminen on aikaa vievää, koska komponenttien nimeämisissä ja tiedoissa on usein puutteita. Näistä syistä toimeksiantajan suunnitteluprosessi suosii Bottom-Up-mallinnusmenetelmää.

5.5 2D-piirustusten sekä polttokuvien tuottaminen

Seuraavassa prosessin vaiheessa tuotetaan kokoonpanopiirustukset sekä levykuvat. Kokoonpano- ja osamalleista luodaan aluksi 3D-suunnitteluohjelmassa omat 2D-piirustukset, jotka päivittyvät automaattisesti mallien muutoksien mukaan. Näitä kuvia käytetään lähinnä apukuvina, joihin lisätään säiliön pää- ja leikkauskuvannot sekä mitta- ja osatiedot. Tämän jälkeen apukuvat tallennetaan erilliseen 2D-piirustusformaattiin. Tallennettu tiedosto avataan AutoCad -ohjelmalla, jolla kuva viimeistellään lopulliseen muotoonsa. Lopuksi 2D-kuvien pohjalta luodaan vielä levykokoonpanojen polttoleikkauskuvat, joiden mukaan levyjen polttoleikkeet valmistetaan.

5.6 Osaluettelot

Prosessin viimeisessä vaiheessa luodaan kokoonpanojen osaluettelot. Osatiedot tuodaan kokoonpanomallista suoraan Excel-taulukkoon, jossa luettelot vielä

viimeistellään ennen asiakkaalle lähettämistä. Useimmiten osaluetteloinnissa kuluu suhteellisen paljon aikaa, koska 3D-mallien tietoja joudutaan tarkastamaan useaan eri otteeseen, osittain puutteellisten mallitietojen seurauksena.

6 PARAMETRISEN SÄILIÖMALLIN LUOMINEN

6.1 Lähtötilanne

Aloittaessani opinnäytetyöni lähtötilanne oli se, että toimeksiantajan säiliömallinnusprosessissa ei koskaan aiemmin ollut käytetty parametrisia malleja. Käsitteenä parametrisuus oli kuitenkin yrityksen henkilökunnalle tuttua, mutta käytännön soveltamisesta ei kellään ollut aiempaa kokemusta. Toisin sanoen, mallien automatisointia ei ollut millään tasolla aiemmin tehty. Tämän johdosta mallin kehittäminen jäi käytännössä pelkästään minun osaamiseni ja selvitystyöni varaan.

Jo lähtötilanteessa oli selvää, että selvitystyö tulisi vaatimaan paljon aikaa, koska oma kokemukseni parametrisoinnista pohjautui pelkästään Jyväskylän ammattikorkeakoulussa pidettyyn 3D-mallinnuskurssiin. Tällä kurssilla parametrisointiin tutustuttiin ainoastaan tekemällä yksi harjoitustehtävä. Näin ollen parametrisointi oli täysin uutta sekä minulle että yrityksen henkilökunnalle. Asiaa ei myöskään varmasti helpottanut se tosiasia, että minulla itselläni ei ollut aiempaa suunnittelu- tai suunnitteluohjelmakohtaista kokemusta.

Vaikka automatisointi sekä parametrisointi olivat lähes täysin uusia asioita yrityksen henkilökunnan jäsenille, niin onneksi heillä oli kuitenkin pitkä kokemus säiliöiden mallintamisesta. Tämän vuoksi henkilökunnalla oli tarkkaan tiedossa, mitä oltiin tekemässä ja mitä vaatimuksia parametrisoinnille piti asettaa. Tällöin minun ei tarvinnut niinkään keskittyä tarkastelemaan standardia, vaan pystyin suoraan hyödyntämään henkilöstön osaamista sekä kokemuspohjaa.

Seuraavissa luvuissa pyritään mallin rakentamista kuvaamaan prosessimaisesta näkökulmasta, jossa vaiheet on jaettu toteuttamisjärjestyksen mukaisesti. Todellisuudessa rakennusvaihe sisälsi myös paljon simultaanisuunnittelua. Simultaanisuunnittelulla tarkoitetaan suunnittelua, jossa useampaa asiaa suunnitellaan samanaikaisesti.

6.2 Lähtötilanteen kartoitus

Kartoitusvaihe aloitettiin selvittämällä malliin vaadittavat komponentit sekä kokoonpanon rakenne. Tiedonkeruu koostui pääasiassa yrityksessä tehdyistä haastatteluista, joiden perusteella luotiin pääpiirteinen kuva säiliökokoonpanon rakenteesta. Haastatteluja tehtiin koko opinnäytetyön toteutusvaiheen ajan, missä haastateltavana toimi toimeksiantajan projektipäällikkö Tomi Vainio. Tehtyjen haastattelujen pohjalta työhön sisältyviksi malleiksi rajattiin seuraavat komponentit:

- vaippalevy
- pohjalevy
- kattokartio
- ankkurijalat
- maadoituskiinnittimet
- tikkaat
- kattokaiteet
- vaipan jäykiste
- katon tukirakenne
- vaipan eriste
- vaipan eristeen tukirakenne
- vaipan eristeen suojapelti
- katon eristeen suojapelti
- miesluukut sekä
- yleisimmät yhdetyypit.

Seuraavassa vaiheessa selvitettiin yksityiskohtaisemmin käytettävien komponenttien rakenteet sekä muuttuvat mitat. Mittatietojen ja rakenteiden selvittämisessä

hyödynnettiin haastatteluja, aiemmin mallinnettuja komponentteja, vakiopiirustuksia sekä Inventorin Content Centeriä. Haastatteluiden avulla haluttiin lähinnä varmistaa se, että mitä olemassa olevia malleja voitiin käyttää uudessa säiliömallissa. Tällä toimintatavalla vältettiin päivittämättömien tietojen pääseminen uuteen malliin. Vasta selvitystyön jälkeen syvennyttiin tarkemmin mallien yksityiskohtaisiin mittatietoihin, ominaisuuksiin sekä muuttujiin, joita olivat

- vaipan ulkohalkaisija, paksuus ja korkeus
- pohjalevyn ulkohalkaisija ja paksuus
- pohjakaivon reiän paikka pohjalevyssä
- kattokartion ulkohalkaisija, paksuus sekä kaltevuusaste
- yhteiden reikien paikoitus vaipassa sekä katossa
- yhteiden etäisyyden säiliöstä ja nimelliskoot
- ankkurijalkojen mitat sekä
- vaipan jäykisteen mitat.

Malli sisälsi vielä huomattavan paljon enemmän muuttujia, mutta mielestäni kaikkien muuttujien läpikäyminen raportissa oli tarpeetonta. Tämän vuoksi päätin rajoittaa listauksen vain työn kannalta oleellisimpiin muuttujiin.

Ensiarvoisen tärkeätä muuttujien määrittämisessä oli selvittää, mikä tai mitkä muuttujat osoittautuivat määrääviksi. Määräävällä muuttujalla tarkoitetaan sellaista muuttujaa, joka ohjaa kokoonpanon muita muuttujia. Tässä työssä määräävimmat muuttujat olivat vaippalevyn ulkohalkaisija ja korkeus sekä kattokartion kaltevuusaste. Nämä määrittävät käytännössä säiliön päämitat, joiden perusteella muut komponentit sijoittuvat säiliökokoonpanoon. Parametrimallin rakenteen suunnittelu aloitettiin vasta, kun määräävät muuttujat sekä niiden suhteet muihin muuttujiin saatiin selvitettyä.

Muuttujien selvittämisen perusteella voitiin nopeasti todeta, että säiliön vaipan ulkohalkaisija määrittää lähes jokaisen kokoonpanon komponentin sijoittumisen.

Näin ollen säiliön vaippa valittiin parametrimallin pääkomponentiksi.

Pääkomponentilla tarkoitetaan osaa, jota ilman koko malli on käyttökelvoton.

Pääkomponentin valinnan lisäksi oli oleellista huomata, että lähes kaikki komponentit ovat pyörähdyskappaleita, joiden pyörähdysakselit ovat samat. Tämän seurauksena kokonpanomalli päätettiin luoda layout-mallin avulla, jota käydään tarkemmin läpi luvussa 6.3.1.

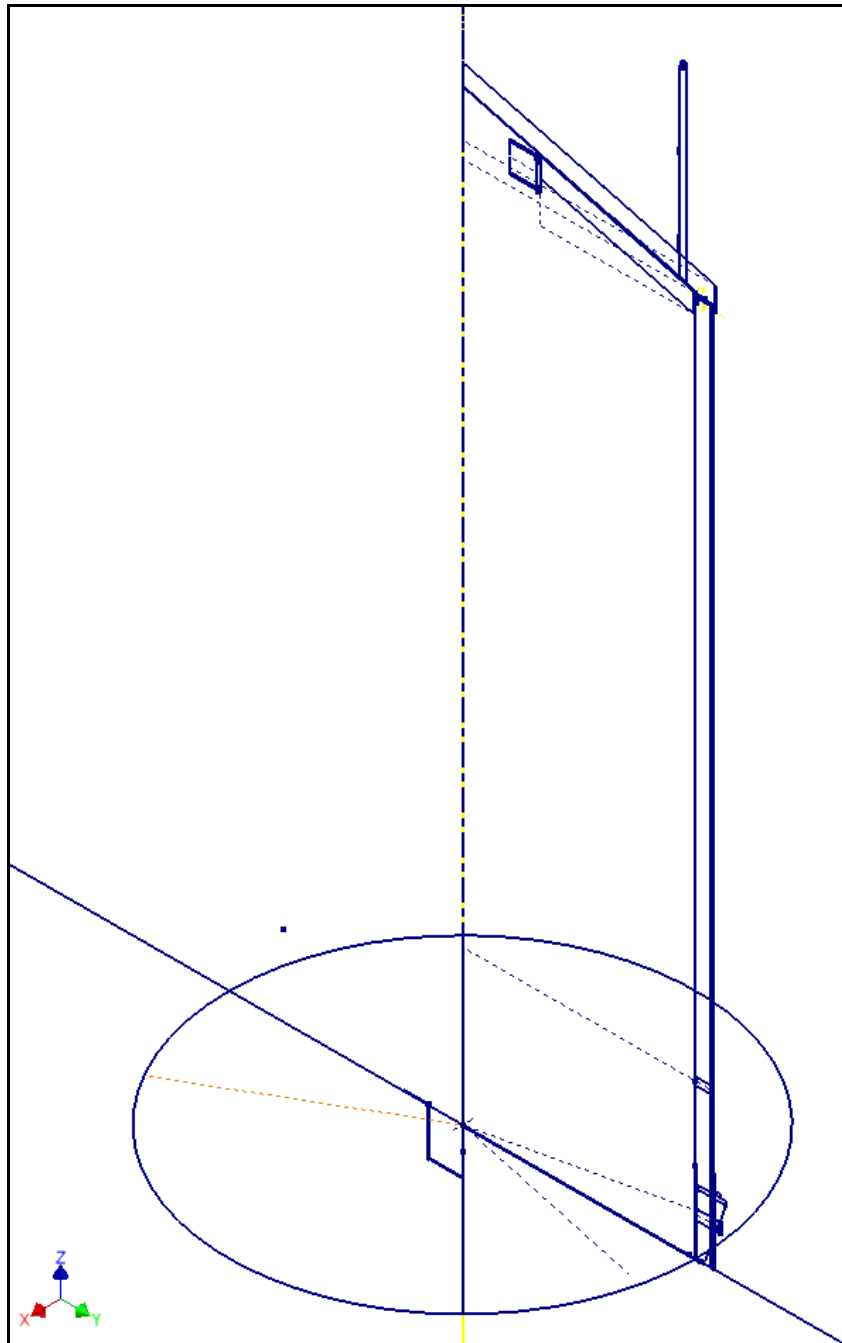
Toimeksiantajan henkilökunnasta kellokään ei ollut aikaisempaa kokemusta Inventorilla tehdyistä layout-malleista, joten suunnitteluohjelman rajoitukset sekä mahdollisuudet layoutin käytölle tuli selvittää ennen mallinnusvaiheen aloittamista. Tässä kohtaa selvitystyö sisälsi todella paljon Inventorin oppaaseen tutustumista sekä Youtube-videoiden katselua.

6.3 Mallintaminen

6.3.1 Kokoonpanomallin layoutin luominen

Toimeksiantajalla aiemmin mallinnetuissa kokoonpanoissa oli pääsääntöisesti käytetty Bottom-Up-mallinnusmenetelmää, koska kokoonpanoon tuotavat kappaleet olivat usein vakiokomponentteja. Kokoonpanoon liittäminen oli toteutettu aina erikseen kokoonpanosidoksia käyttäen. Sidosten tekemisessä ei kuitenkaan ollut käytetty mitään yhteistä sääntöä. Tämän johdosta mallien muuntelu suunnitteluprosessin myöhemmässä vaiheessa oli hankalaa. Tästä huolimatta parametrimallin ensimmäinen versio luotiin tällä menetelmällä, koska toimeksiantajalla käytettyjä mallinnustapoja ei haluttu muuttaa.

Lopulta kuitenkin huomattiin, että mallia ei Bottom-Up-menetelmällä saatu kunnolla toimimaan, koska mallin toiminta hidastui huomattavasti. Syinä mallin hidastumiselle olivat pääkokoonpanon sidosten suuri määrä sekä Excel-ohjauksen rakenne. Hidastumisesta johtuen lopullisen mallin rakenne luotiin layoutin (ks. kuvio 11) avulla Top-Down-mallinnusmenetelmää hyväksi käyttäen.



KUVIO 11. Säiliökokoonpanon layout

Tähän vaihtoehtoon päädyttiin lähinnä siksi, koska layout-mallin ja Top-Down-mallinnusmenetelmien avulla työmäärää saadaan vähennettyä varsinkin valmiin tuotteen suunnittelussa. Mallista saadaan tällöin Bottom-Up-menetelmään verrattuna lisäksi huomattavasti keveämpi, koska malli ei sisällä paljon kokoonpanosidoksia. (Nissilä 2009, 10.)

Mallinnusvaiheessa layouttiin luotiin aluksi kaksi pääsketsiä, jotta malli saatiin toimimaan halutulla tavalla. Ensimmäinen pääsketsi kuvasi kokoonpanon pystysuuntaista poikkileikkauskuvantoa, jolla mahdollistettiin pääkokoonpanon pyörähdyskappaleiden luominen yhtä sketsiä apuna käyttäen. Toinen pääsketsi oli käytännössä apusketsi, jonka avulla komponenttien suuntaus saatiin toteutettua. Näiden lisäksi malliin luotiin vielä useampia osakohtaisia sketsejä, joita ohjattiin pää- ja apusketsien avulla.

Tässä vaiheessa oli erityisen tärkeätä miettiä tarkkaan varsinkin geometrioiden sitomista toisiinsa, koska luonnokset sisälsivät todella paljon eri mitta-arvoja ja sidosehtoja. Useat päällekkäiset sketsit sekä niihin liittyvät mittaviivat vaikeuttivat usein sidosehtojen erottamista toisistaan. Suurimmat ongelmat ilmenivät juuri silloin, kun osien geometrioita jouduttiin siirtelemään tai muuttamaan, jolloin koko pääsketsi saattoi muuttua virheellisesti.

Onneksi Inventorissa oli mahdollista luoda erillisiä Block-geometrioita, joiden avulla profiilit sekä profiilien sisäiset sidosehdot pystyttiin rajaamaan toisistaan. Block-geometria tarkoittaa geometriakuvausta, jonka muuttuminen ulkoisten määritysten vaikutuksesta on estetty. Näitä geometrioita voidaan muuttamaan ainoastaan avaamalla yksilöllinen Block-luonnos, jonka johdosta profiilien siirtely ja sitominen helpottuu huomattavasti. Toinen etu blockien käyttämisessä on se, että niitä voidaan tallentaa mallin piirrepuuhun. Tällöin mallin sisään voidaan tavallaan luoda erillinen profiilikirjasto, josta profiileja voidaan suunnittelun myöhemmässä vaiheessa noutaa. Tätä toimintatapaa voidaankin pitää tietyn tyyppisenä modulointina, jossa valmiiksi määriteltäviä profiileja voidaan vaihdella keskenään, siirtää eri paikkoihin ja käyttää useammassa eri kokonaisuudessa samanaikaisesti.

6.3.2 Osamallien luominen layoutista

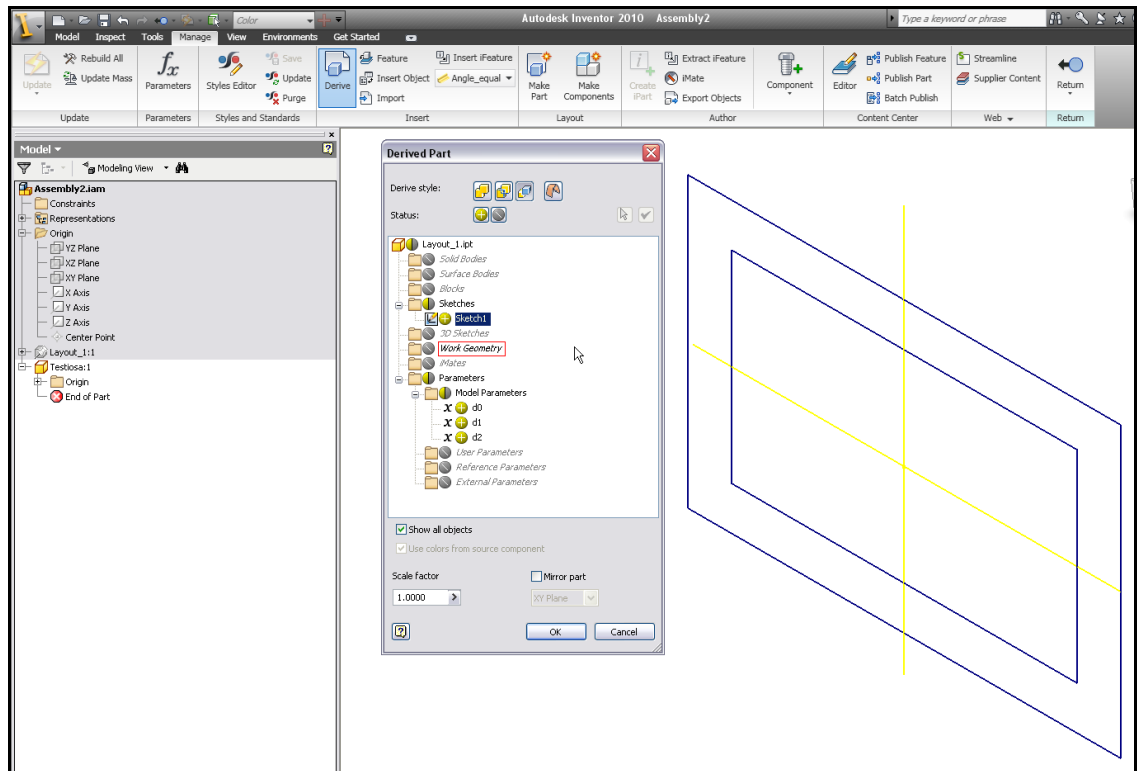
Tässä luvussa esitetään esimerkkikappaleen avulla, kuinka kappalemallit luotiin layoutista. Tätä mallinnustapaa toistettiin, kunnes kaikki layoutissa kuvatut

kappaleet saatiin mallinnettua. Toteutuksessa apuna käytettiin Inventorin Derive Component -työkalua.

Ensimmäisessä vaiheessa luotiin kokoonpanomalli, johon ensimmäisenä osana tuotiin valmiiksi mallinnettu layoutosa. Tällöin osa sitoutui automaattisesti kokoonpanon origoon eli peruspisteeseen. Peruspistettä ja tasoja kannattaa yleisesti ottaen hyödyntää kappaleiden ja kokoonpanojen mallintamisessa, koska tällä tavalla luodaan yksinkertainen mallintamissääntö, jonka perusteella kappaleet sidotaan aina kokoonpanoon. Näinkin yksinkertainen toimintatapa saattaa säästää useita minuutteja kokoonpanoa kootessa, koska silloin jokainen suunnittelija tietää automaattisesti, kuinka osamallit tulee liittää pääkokoonpanoon.

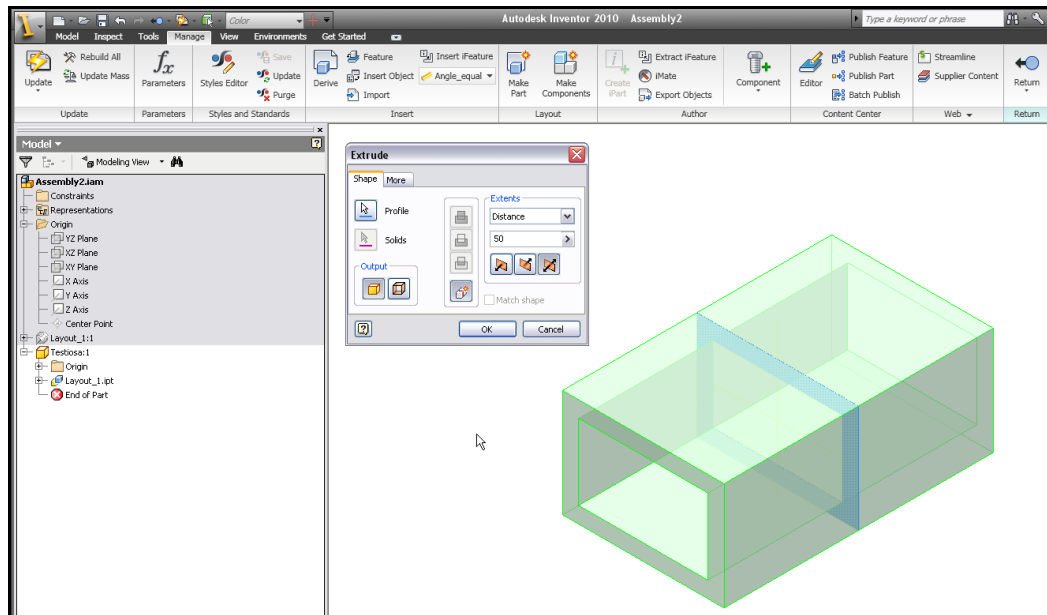
Seuraavaksi kokoonpanotilassa luotiin uusi komponentti, jonka ominaisuudeksi valittiin joko kappalemalli tai levymalli. Ominaisuuden valinta perustui siihen, että haluttiinko luotavalle mallille antaa levyominaisuus, joka mahdollistaa kappaleen levityskuvannon tuottamisen. Levityskuvannon avulla kappaleesta voidaan luoda tarvittavat polttoleikkauskuvat, joiden mukaan kappale valmistusvaiheessa leikataan oikeaan muotoonsa ennen taivuttamista.

Kun kappalemalli saatiin luotua, linkitettiin se layout-malliin Derive Component -toiminnolla. Linkittämisen avulla layoutista voitiin valita tuotavat ominaisuudet ja parametrit, joita uudessa mallissa haluttiin käyttää. Kuviossa 12 on nähtävissä layout-mallin tietojen tuominen sekä linkittäminen.



KUVIO 12. Layout-mallin tietojen valinta ja osamalliin tuominen

Viimeisessä vaiheessa tuoduista sketseistä luotiin lopullinen kappalemalli pursottamalla tai pyöräyttämällä tuotua geometriaa. Pääsääntöisesti levymallit luotiin pyöräytys -työkalulla ja kappalemallit pursotus -työkalulla. Tämän jälkeen osamalli ankkuroitiin, millä kappaleen tarpeeton liikkuminen estettiin. Kuviossa 13 on nähtävissä, kuinka layoutista tuodusta sketsistä saatiin kappalemalli.



KUVIO 13. Kappalemallin luominen tuotua sketsiä pursottamalla

6.3.3 Muiden komponenttien luominen

Layoutin pohjalta luotujen komponenttien jälkeen mallinnettiin kokoonpanon muut osamallit, jotka haluttiin toteuttaa erillään päämallista. Mallinnustavasta poikkeaminen tehtiin siksi, koska näiden komponenttien rakenteita tuli voida muuttaa nopeasti ja joustavasti. Layoutista erotetut osamallit olivat lähinnä kokoonpanossa käytettävät yhteet, koska niiden tyypit sekä sijainnit muuttuvat lähes jokaisessa säiliökokoonpanossa. Tämän lisäksi yhdetyyppien sisäiset osat vaihtelevat esimerkiksi kokojensa sekä pituuksiensa puolesta todella paljon.

Erikseen luodut komponentit mallinnettiin Bottom-Up-menetelmän mukaisesti, jossa osakokoonpanojen osat mallinnettiin valmiiksi ja sidottiin toisiinsa vasta kokoonpanovaiheessa. Mallinnetut osat olivat lähinnä Inventor-kirjastosta löytyviä standardosia, kuten

- putket
- laipat
- tiivisteet ja
- putkikäyrät.

Näiden lisäksi mallinnukseen kuului myös yhteiden vahvikelevyjen mallintaminen. Vahvikelevyn tarkoituksena on vahvistaa säiliön vaippaa kohdissa, joissa kuormitusaste on epäjatkuva. Levy hitsataan vaippaan tai kattoon tehdyn yhdeaukon ympärille, jos reiän koko ylittää standardin määrittelemän rajan.

Koska yhteiden koot ja rakenteet vaihtelevat säiliökokoonpanoittain, yhteistä päätettiin luoda erillisiä moduuleja. Näille moduuleille luotiin omat sisäiset mallinnustavat, liittämissäännöt sekä ohjaaminen, jotta niiden vaihdokset sekä kokemuutokset onnistuvat luontevasti. Tähän tilanteeseen paras löytämäni vaihtoehto oli käyttää Inventorissa olevia älykkäitä sidoksia eli IMateja. IMatella pystyttiin luomaan sidoksia, joiden avulla yhteet lähes automaattisesti paikoittautuvat pääkokoonpanossa oikeille kohdilleen. Näin ollen yhteiden paikoilleen asettaminen ja vaihtaminen saadaan toteutettua huomattavasti nopeammin kuin normaaleja kokoonpanosidoksia käyttämällä.

IMateja käytettiin myös yhteiden sisäisissä osissa, jotta yhteiden rakenteellisen muutokset voidaan tarvittaessa toteuttaa nopeasti. Jotta sisäiset osat saatiin toimimaan halutulla tavalla, ei Inventorin standardikirjaston osia voitu hyödyntää, koska ne ovat kokoonpanovaiheessa osittain lukittuja, eivätkä osatietojen esitysmuodot vastaa valmistajan vaatimuksia. Näin ollen kaikki mallissa käytetyt standardiosatkin mallinnettiin erikseen ja parametrisointiin myöhemmässä vaiheessa.

6.4 Osatietojen parametrisointi

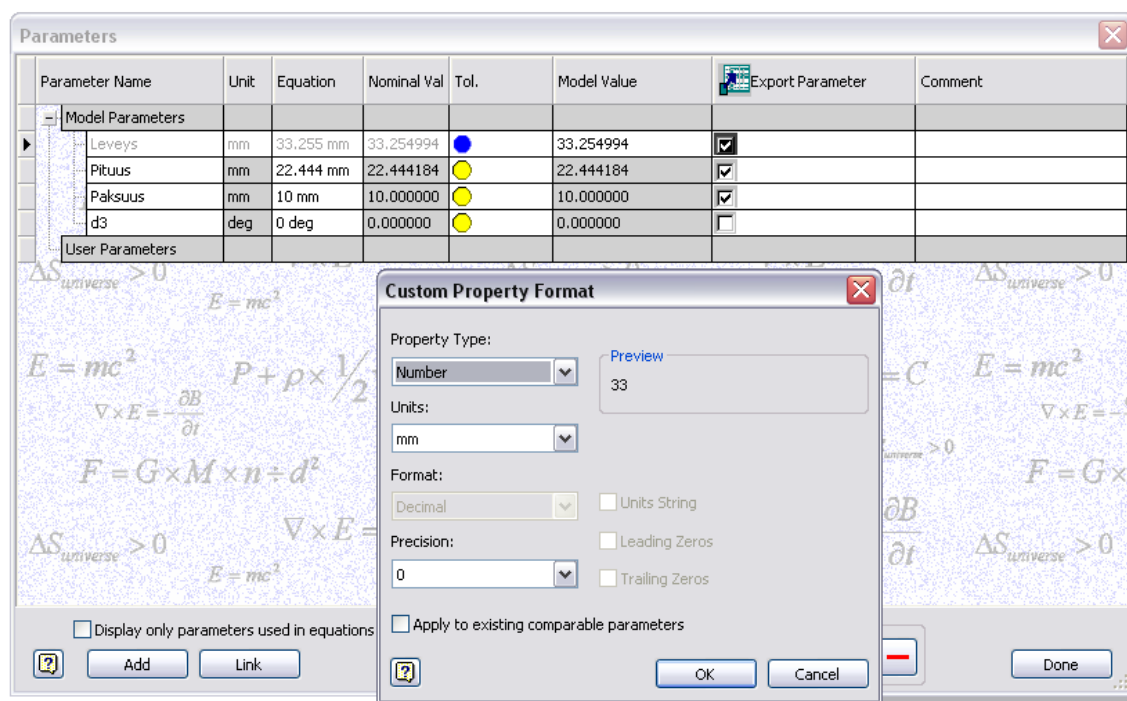
Osatietojen parametrisointi oli opinnäytetyön yksi tärkeimmistä osa-alueista, koska yrityksessä aiemmin luotujen mallien tietokentät olivat usein puutteellisia. Tästä seurauksena osaluetteloiden tuottaminen oli hidasta ja vaati suunnittelijalta erityistä tarkkuutta, jotta virheitä ei pääsisi syntymään.

Tavoitteenahan osatietojen parametrisoinnissa oli se, että suunnittelijan ei enää osaluetteloiden luomisvaiheessa tarvitsisi tarkistella mallien mitta-arvoja 3D-

mallista. Tällöin suunnittelijan tehtäväksi jäisi ainoastaan luettelon ulkoasun muokkaaminen sekä tarkastaminen.

Tietokenttien parametrisoinnissa pohdittiin aluksi, mitkä mittatiedot olivat osaluetteloinnin kannalta oleellisia. Alustavan pohdinnan jälkeen valitut mitta-arvot parametrisoitiin siten, että mitta-arvot seurasivat mallien mittojen muutoksia ja näkyivät suoraan mallien tietokentissä.

Käytännössä parametrisoiminen toteutettiin Inventorin Manage-välilehdeltä löytyvällä Parameters -työkalulla, jolla osatietoihin halutut arvot valittiin. Valitut parametrit ruksittiin Parameters -työkalun kohdasta Export Parameter, jonka jälkeen muuttujan esitysasua voitiin muokata Custom Property Format -välilehdessä. (ks. kuvio 14.)



KUVIO 14. Mittalukujen valinta ja parametrisointi

Muuttujien valintojen jälkeen lopullinen parametrisointi toteutettiin mallin IProperties -valikossa, jossa Description -kenttään valitut parametrit kirjoitettiin

esimerkiksi muotoon =<"Parametri 1 nimi"> x <"Parametri 2 nimi"> L=<"Parametri 1 nimi">. Tietokenttien parametrisointia esitetään kuviossa 15.

KUVIO 15. Tietokenttien parametrisointi

Toimintatapaa toistettiin jokaisen komponentin kohdalla, kunnes kaikki tarvittavat arvot saatiin parametrisoitua. Tämän jälkeen kaikkien osien tietokentät muuttuvat mallien muutosten mukaan. Samaa toimintatapaa hyödyntäen parametrisoitiin myös mallien muut tietokentät.

6.5 Mallin käyttöliittymän luominen

Käyttöliittymän luominen oli koko opinnäytetyön haastavin osio, koska koko mallin toiminta perustuu siihen. Lopullinen mallin ohjaaminen toteutettiin suunnitteluohjelman ulkopuoleisella Excel-taulukolla. Käyttöliittymä olisi voitu

toteuttaa myös muillakin tavoilla, mutta niihin olisi vaadittu erillistä ohjelmointitaitoa, jonka vuoksi muut vaihtoehdot rajattiin pois. Excelin käyttöä puolsivat helppo ylläpidettävyys, päivitettävyys, vähäisen ohjelmointitaidon tarve sekä tehokkaat ohjelman sisäiset käskyt sekä kaavat (Anttila 2010, 11–12). Näiden lisäksi oli otettava huomioon, että jokainen henkilökunnan jäsen osasi käyttää Exceliä, ja se oli kaikille tuttu työväline jo entuudestaan. Niinpä voitiin olettaa, että Excelillä luodun käyttöliittymän käyttäminen tulisi olemaan yrityksen henkilökunnalle helpompaa kuin, että toteutus olisi tehty esimerkiksi erillisellä ohjelmoinnilla. Käyttöliittymän suunnittelussa otettiin huomioon asioita, kuten

- ulkoasun selkeys
- ulkoasun rakenne
- ohjattavien muuttujien määrittäminen
- ohjauslogiikan rakenne
- muutettavuus
- käytettävyys
- käyttäjän valintojen rajaaminen
- haitallisten arvojen syöttämisen estäminen ja
- linkittäminen suunnitteluohjelman kanssa.

Käyttöliittymän ulkoasu luotiin vastaamaan osittain asiakkaalta saatavaa esitetietolomaketta, jolla saatiin aikaan tietty yhdenmukaisuus näiden kahden taulukon välillä. Näin voitiin myös varmistua siitä, että käyttöliittymän tulkinta on mahdollisimman yksiselitteistä.

Rakenteeksi muodostuivat kuvioiden 16, 17 ja 18 mukaiset taulukot, joiden mukaan mallia ohjataan. Rakenteen toteutuksessa ideana oli se, että ylimmässä taulukossa (ks. kuvio 16) ohjataan säiliön komponentteja ja kahdessa muussa taulukossa ohjataan säiliön vaipassa ja katossa sijaitsevia yhdeaukkoja. Toisin sanoen kahdessa jälkimmäisissä taulukoissa päätetään yhteiden paikoitus säiliökokoonpanossa.

API 650		TANK ASSEMBLY	
SHELL PLATE		ROOF CONE	
OUTSIDE DIAMETER (mm)	3000	OUTSIDE DIAMETER (mm)	3030
HEIGHT (mm)	5400	THICKNESS (mm)	6
THICKNESS (mm)	6	SLOPE (deg)	15
<input checked="" type="checkbox"/> INSULATION (mm)	100	<input checked="" type="checkbox"/> INSULATION (mm)	100
INSULATION PLATE		INSULATION CONE	
THICKNESS (mm)	1	THICKNESS (mm)	0.2
		HEIGHT FROM ROOF (mm)	125
SHELL INSULATION SUPPORT STRUCTURE		ROOF SUPPORT STRUCTURE	
HEIGHT FROM BOTTOM (mm)	995	STARTING ANGLE (deg)	10
SPACING (mm)	1990	QUANTITY I-BEAM (pcs)	10
RING QUANTITY (pcs)	2	SIZE I-BEAM	DIN 1025 IPE 120
PLATE QUANTITY (pcs)	6	DRUM RING OD (mm)	1000
TOP ANGLE		ROOF HANDRAIL	
SIZE	15. DIN EN 10056 - L60x60x8	ANGLE (deg)	180
TOP RING		ANCHOR BOLT CHAIRS	
SIZE	58. DIN EN 10056 - L80x40x6	CHAIR TYPE	TYPE A
		BACK PLATE	ON
		QUANTITY (pcs)	4
		STARTING ANGLE (deg)	30
		DRAWOFF SUMP	
		DISTANCE FROM CENTER (mm)	0
		ANGLE (deg)	0
		GROUNDING LUGS	
		QUANTITY (pcs)	3
		STARTING ANGLE (deg)	70
		HEIGHT FROM BOTTOM (mm)	250

KUVIO 16. Säiliökokoonpanon ohjaustaulukko

SHELL NOZZLES							
PART NUMBER	PART NAME	DESIGNATION	SIZE	DISTANCE FROM SHELL	DIRECTION		HEIGHT FROM BOTTOM
			DN	mm	mm	deg	mm
1	B	FOAM POURER	80	200	550	from 0	500
2	C1	DRAIN / EMPTYING	32	200	0	from 30	275
3	C2	OVERFLOW (OPTI. BLINDED)	32	200	0	from 330	275
4	E1	OVERFLOW	100	200	0	from 60	5150
5	E2	OVERFLOW (OPTI. BLINDED)	100	200	0	from 320	5150
6	K	STEAM	32	200	350	from 0	200
7	L	CONDENSATE	32	200	-450	from 0	400
8	M1		80	200	0	from 90	5150
9	M2		80	200	0	from 270	5150
10	P		150	200	0	from 14	5150
11	X2		80	175	0	from 160	4700
12	X3		80	175	0	from 160	3800
13	X4		80	75	0	from 160	5150
14	X5		80	175	0	from 160	2800
15	Y		25	200	-450	from 0	600
16	Aa1		15	200	400	from 0	400
17	Aa2		20	200	400	from 0	600
18	Ac		50	150	-300	from 0	275
19	I2	SHELL MANHOLE	600	250	0	from 220	1000
20			0	0	0	from 0	0
21			0	0	0	from 0	0
22			0	0	0	from 0	0
23			0	0	0	from 0	0
24			0	0	0	from 0	0
25			0	0	0	from 0	0
26			0	0	0	from 0	0
27			0	0	0	from 0	0
28			0	0	0	from 0	0
29			0	0	0	from 0	0
30			0	0	0	from 0	0

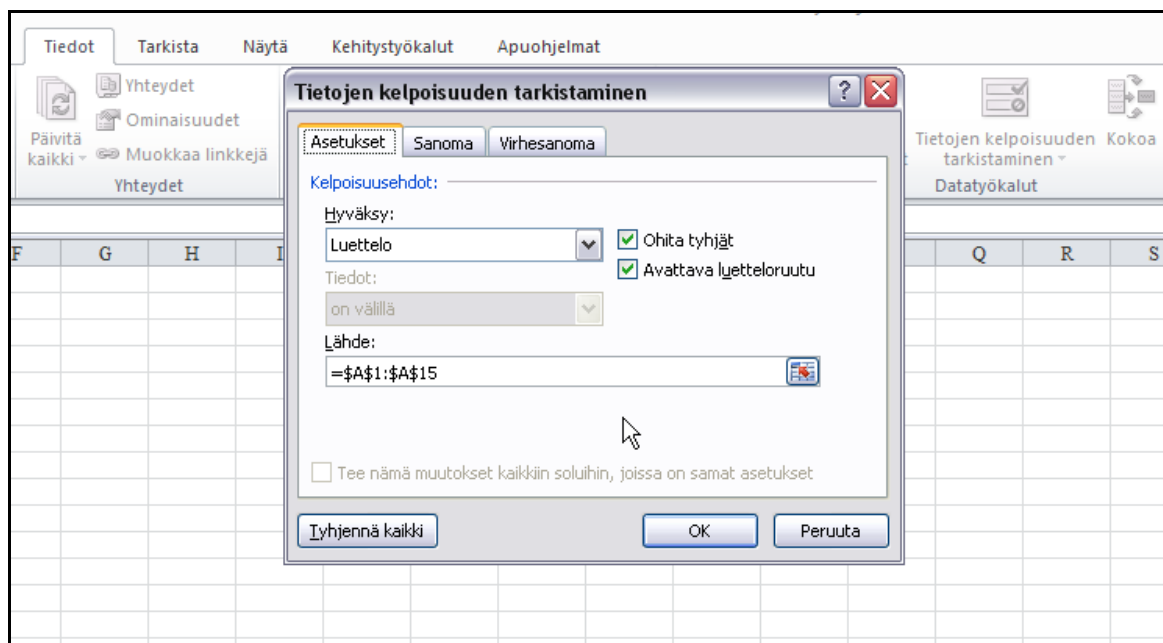
KUVIO 17. Vaippayhteiden paikoitustaulukko

ROOF NOZZLES							
PART NUMBER	PART NAME	DESIGNATION	SIZE	DISTANCE FROM CENTER	DIRECTION		HEIGHT FROM ROOF
			DN	mm	mm	deg	mm
1	A	VENTING	80	1200	-600	from 0	250
2	D		100	0	0	from 0	250
3	F		80	1200	-300	from 0	250
4	G		80	1200	0	from 0	250
5	H		80	1200	300	from 0	250
6	I1		600	750	0	from 180	250
7	X1		65	600	-450	from 0	250
8	XR		150	1200	0	from 270	250
9	XL		25	1200	25	from 280	250
10			0	0	0	from 0	0
11			0	0	0	from 0	0
12			0	0	0	from 0	0

KUVIO 18. Kattoyhteiden paikoitustaulukko

Käyttöliittymän käytettävyyttä sekä toimivuutta tehostettiin siten, että taulukkoihin luotiin erillisiä pudotusvalikoita, joiden avulla käyttäjän ei tarvitse itse muistaa esimerkiksi eri putkikokojen reikien halkaisijoita, vaan ne ovat suoraan listattuna DN-

kokoina. DN-koolla tarkoitetaan putken nimellistä halkaisijaa. Esimerkiksi DN 100 putken halkaisija on 114,3 millimetriä. Näiden lisäksi käyttäjän mahdollisuuksia rajattiin siten, että väärin tietojen syöttäminen taulukkoon estettiin. Kyseinen esto toteutettiin Excelin Tietojen kelpoisuuden tarkastamis -työkalulla, jolla luotiin erillisiä kaavoja ja luetteloita, joiden ansiosta käyttäjä ei voi syöttää valitsemaansa soluun kuin sallittuja arvoja (ks. kuvio 19). Tämän lisäksi työkalulla tehtiin myös erillisiä ponnahdusikkunoita, jotka ilmoittavat käyttäjälle, jos syötetty arvo ei kelpaa. Käyttäjän rajoittaminen haluttiin tehdä siksi, että kukaan ei pysty vahingossakaan syöttämään malliin sellaisia arvoja, jotka saisivat mallin niin sanotusti räjähtämään.



KUVIO 19. Tietojen kelpoisuuden tarkastamis -työkalu

Tämän jälkeen valituille arvoille luotiin vielä erillinen parametritaulukko (ks. kuvio 20), joka linkitettiin layout-malliin. Linkitys jouduttiin toteuttamaan tällä tavalla, koska Inventor pystyy keskustelemaan ainoastaan Excel-taulukon ensimmäisen välilehden kautta. Tämän lisäksi Inventor vaatii, että parametrit listataan allekkain ja, että niissä ilmoitetaan parametrien nimet, arvot, yksiköt ja kommentit. Lopulliseen käyttöliittymään tulikin yhteensä noin 1200 linkitettyä parametria, minkä vuoksi pääohjaustaulukon toteutus oli opinnäytetyön aikaa vievin osio.

	A	B	C	D	E	F
1	1 NOZZLE E1 DN 100					
2	SHELL OUTSIDE DIAMETER	NOZZLE OFFSET	DISTANCE FROM SHELL		HEIGHT FROM BOTTOM	
3	3000	0	200		5150	
4	ITEM	STANDARD AND TYPE	SIZE	THICKNESS	LENGTH	ROTATION
5			DN	mm	mm	deg
6	BLANK FLANGE	DIN 2527 Type B - PN 10	100			
7	WELDING NECK FLANGE	DIN 2632 Type C Series 1 (ISO) - PN 10	100			
8	REINFORCING PLATE	API	100	6		
9	GASKET	DIN	100	2		
10	ELBOW 1	DIN 2605 90 Deg Type 3	100	3.6		0
11	ELBOW 2	DIN 2605 90 Deg Type 3	100	3.6		0
12	ELBOW 3	DIN 2605 90 Deg Type 3	100	3.6		180
13	PIPE 1	DIN 2458	100	8.8	350	
14	PIPE 2	DIN 2458	100	3.6	4722	
15	PIPE 3	DIN 2458	100	3.6	100	
16	PIPE 4	DIN 2458	100	3.6	100	
17	PIPE 5	DIN 2458	100	3.6	100	
18						

KUVIO 21. Ylivuotoyhteen ohjaustaulukko

Yhteiden ohjaustaulukoiden rakenteessa käytettiin todella paljon ehtolauseita, joiden avulla määritetään esimerkiksi putkien paksuudet. Säiliön vaipasta läpimenevät putket ovat esimerkiksi aina paksumpia, kuin yhteen muut putket. Paksuudet valitaan yhdekoon, sijainnin sekä rakenteen mukaan. Ehtolauseet olivatkin yksi pääsyy siihen, miksi mallin ohjaaminen haluttiin toteuttaa Excelissä. Inventor 2010:ssä ei ole mahdollista luoda minkäänlaisia ehtolauseita mallin ohjaamista ajatellen. Ohjelma mahdollistaa ainoastaan parametrien linkittämisen eri osamallien välillä. Tästä syystä mallin logiikkaa ei voitu luoda suunnitteluohjelman sisäisesti.

Ehtolauseiden lisäksi taulukossa käytettiin myös hyvin paljon Excelin Haku -funktiota, jolla listoista voitiin etsiä tiettyä lukua vastaavia arvoja. Haettavana arvona käytettiin pääasiassa komponenttien DN-kokoa, jonka perusteella esimerkiksi vahvikelevyn sisä- ja ulkohalkaisijat määräytyvät.

6.6 Testaaminen ja toiminta

Opinnäytetyön aikana luotiin yhteensä kaksi eri mallia, joista ensimmäistä ehdittiin testaamaan enemmän käytännössä. Käytännön kokeilut osoittivat, että mallin toiminta oli varmaa eikä suurempia ongelmia ilmennyt. Ainoana haittapuolena oli

mallin päivittämisen hitaus. Mallin rakenne oli suunniteltu siten, että koko sitä ohjattiin vain yhden taulukon kautta. Tällöin mallin päivittäminen kesti noin kolme minuuttia muutosten määrästä huolimatta. Syy tähän oli se, että Excelissä ei voida tehdä osittaista taulukoiden päivittämistä, jolloin laskentaohjelma ajaa väkisin kaikki parametritiedot malliin.

Mallin viimeisintä versiota testattiin vain yhdessä säiliöprojektissa, jossa mallinnusvaiheesta suoriuduttiin noin kaksi tuntia aiempaa nopeammin. Täysipainotteista testaamista ei kuitenkaan ehditty toteuttamaan, koska malli valmistui vasta opinnäytetyön lopussa. Rakennusvaiheeseen kuului kuitenkin useampia testausjaksoja, joilla varmistettiin mallin toiminta useissa eri tilanteissa. Näin ollen kaikki komponentit testattiin automaattisesti luomisprosessin aikana. Lisäksi vanhan ja uuden mallin logiikat vastaavat lähes täysin toisiaan, pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta, joten todennäköisesti mallin toiminnassa ei ilmene suuria ongelmia.

7 YHTEENVETO

7.1 Tulokset

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin parametrisoitu API 650 -standardin mukainen nesteen varastointisäiliön malli, jonka ohjaaminen toteutettiin Microsoft Excel -taulu-koilla. Malli luotiin Autodesk Inventor 2010 -ohjelmalla. Mallin toteutuksessa käytettiin hyödyksi mallien parametrisuutta, joten malleja kyetään ohjaamaan lähes pelkästään lukuarvoja muuttamalla. Kaikkia säilökokoonpanon komponentteja ei kuitenkaan malliin parametrisoitu. Kokoonpanomalli sisältää lisäksi muutamia komponentteja, joiden parametrisointia ei ollut edes järkevää toteuttaa. Nämä komponentit ovat vakio-osia, joiden mitat ja geometria pysyvät muuttumattomina. Lopullisen mallin rakenne sisältää säiliökokoonpanon layout-mallin, jota käytettiin muiden osakokoonpanojen ja osien luomiseen. Poikkeuksena olivat kuitenkin säiliömallin yhdekokoonpanot, jotka modulointiin omiksi moduuleiksi. Näissä

tapauksissa ohjaus toteutettiin yhteiden sisäisillä laskentataulukoilla, joiden avulla varmistettiin, että yhteiden vaihdettavuus olisi mahdollisimman yksinkertaista ja nopeaa.

7.2 Tulosten arviointi

Toteutuksen jälkeen mallilla ehdittiin luoda yksi säiliökokoonpano, jossa käytettiin suurinta osaa työhön kuuluvista komponenteista. Mallinnukseen kului arviolta noin viisi tuntia, johon sisältyi myös työhön kuulumattomien osien käyttäminen kokoonpanossa. Tästä syystä mallinnusvaiheessa saatu ajallinen hyöty oli vain noin kaksi tuntia, joka ei omasta mielestäni ole vielä riittävän hyvä suoritus. Oma henkilökohtainen tavoitteeni oli luoda malli, jolla mallinnusvaihe olisi kestänyt korkeintaan kolme tuntia. Tähän tavoitteeseen ei kuitenkaan vielä päästy, mutta tulevaisuudessa tilanne on todennäköisesti toinen. Jos mallia käytetään tulevaisuudessa jokaisessa uudessa säiliöprojektissa, niin silloin prosessi tavallaan alkaa ruokkia itse itseään. Parametrimallilla mallinnetut säiliökokoonpanot ovat aina uudelleen käytettäviä, jolloin jossain vaiheessa ollaan siinä tilanteessa, että kaikki säiliökokoonpanotyyppit on kertaalleen mallinnettu. Tyyppikohtaiset muutokset ovat yleensä hyvin pieniä, jolloin tehtävät muutokset onnistuvat pelkästään ohjaustaulukon kautta. Tällöin mallinnusvaihe ei varmastikaan tule kestäämään kolmea tuntia kauempaa.

Työn toisena tavoitteena oli osaluetteloiden parametrisointi, jolla haluttiin vähentää suunnittelijan tekemää manuaalista työtä sekä suunnittelun aikana tapahtuvien virheiden mahdollisuutta. Mielestäni tämä tavoite saavutettiin todella hyvin, koska uuden mallin ansiosta kaikkien mallien mittatiedot päivittyvät automaattisesti seuraten mallien muutoksia. Suunnittelijan ei enää tarvitse jälkikäteen varmistella sitä, että vastaavatko osaluettelon tiedot varmasti 3D-mallien tietoja. Näin ollen aikaa säästetään huomattavasti ja virheiden mahdollisuutta saadaan vähennettyä. Täytyy kuitenkin muistaa, että tässäkin tapauksessa osaa komponenteista ei oltu vielä parametrisoitu, joten niiden kohdalla tietoja jouduttiin vielä erikseen tarkistelemaan.

Näiden lisäksi mallilla haluttiin yhtenäistään toimeksiantajan säiliömallinnusprosessia eri suunnittelijoiden välillä. Tällä hetkellä tämän tavoitteen toteutumisesta ei kuitenkaan vielä voida vetää mitään johtopäätöksiä, koska mallin käytännön testaaminen tapahtui ainoastaan minun toimesta. Oleellisintahan tässä tapauksessa on se, että muut suunnittelijat pystyvät tulevaisuudessa sisäistämään uuden mallin ja mallinnustavan periaatteet. Toisaalta pelkällä asian sisäistämällä ei mallinnusprosessista saada yhtenäistä, vaan siihen vaaditaan yhteisessä mallinnustavassa pysymistä. Monesti suurimpana vaarana on palaaminen tuttuun ja turvalliseen toimintatapaan, jolla asioita on aina ennenkin tehty. Oma toiveeni olisikin, että mallin mukana tuleviin muutoksiin suhtauduttaisiin yrityksessä positiivisin mielin, jolloin uusi mallinnusprosessi saataisiin todennäköisemmin vakioitua.

7.3 Jatkokehittäminen

Opinnäytetyön tuloksena syntynyttä mallia on mahdollista vielä tulevaisuudessa kehittää automaattisempaan suuntaan. Jatkokehittämisellä voitaisiin esimerkiksi valmistuskuvien tuottaminen automatisoida, hyödyntämällä mallin parametrisuutta. Tämä olisikin toimeksiantajan kannalta hyvin merkityksellinen kehityskohde, koska nykyisessä prosessissa aikaa kuluu eniten juuri kuvien tuottamiseen. 3D-mallintamisen ensisijaisena tarkoituksenahan on tarvittavien 2D-kuvien tuottaminen. Jos kuvien luominen automatisoitaisiin, olisi hyvin todennäköistä, että koko suunnitteluprosessiin aiemmin käytetty aika saataisiin jopa puolittumaan. Tämä on tosin oma arvioni, joka pitkälti tulisi riippumaan mallin automaatioasteesta.

Toisena kehityskohteena voisi olla esimerkiksi EN -standardilla suunniteltavien säiliöiden sisällyttäminen malliin, jolloin toimeksiantajan säiliöiden mallinnus kyettäisiin lähes kokonaan toteuttamaan yhdellä kokoonpanomallilla. Kyseinen kehityskohde olisi loppujen lopuksi suhteellisen yksinkertaista toteuttaa, koska API- ja EN -standardit ovat rakenteeltaan hyvin samantyyppisiä, sisältäen lähes identtisiä komponentteja. Tällöin pelkästään Excelin laskukaavojen muokkaaminen saattaisi riittää siihen, että malli toimisi myös EN -standardin mukaan. Aluksi malliin pitää kuitenkin parametrisoida kaikki työn ulkopuolelle jätetyt komponentit, jotta koko

mallinnusvaihe toimisi samoilla periaatteilla. Tämän lisäksi mallin toimintaa tulee jatkossa seurata tarkkaan, jotta mahdolliset systemaattiset virheet tulevat esille.

7.4 Kokemukset opinnäytetyöstä

Opinnäytetyön aihe oli mielestäni haastava ja vaati todella paljon tutustumista varsinkin käytettävään mallinnusohjelmaan sekä ohjelmakohtaisiin rajoitteisiin. Työn alkuvaiheessa tutustuttiin paljon myös aiemmin mallinnettuihin malleihin, mallintamisen perusteisiin sekä säiliöiden rakenteisiin. Tämä vaihe osoittautui lopulta hyvin aikaa vieväksi, koska sopivaa teoriapohjaa oli yllättävän vaikeaa löytää. Tästä syystä esimerkiksi säiliörakenteen kuvaaminen perustui lähinnä haastattelujen pohjalta saatuihin tietoihin. Haastattelut olivatkin yksi tärkeimmistä tiedonkeruukanavista, joita opinnäytetyössä käytettiin.

Mallinnusteoriasta puolestaan suurin osa löytyi suoraan internetistä, vaikka lähteinä niitä ei raportissa mainitakaan. Yksinkertainen syy tähän oli se, että käytetyt materiaalit ovat videoita, jotka löytyivät Youtubesta. Sivusto osoittautui lopulta uskomattoman hyväksi apuvälineeksi, josta löytyi todella paljon videomateriaalia juuri mallien parametrisoinnin toteuttamisen eri tavoista. Työ osoitti minulle sen, että 3D-mallinnuksesta painetuista kirjoista ja manuaaleista, ei lähtökohtaisesti kyetty samanlaista tietoa löytämään yhtä helposti. Painetuissa teoksissa keskitytään yleensä mallinnusohjelman perustoimintoihin, mutta esimerkiksi parametrisointia ei niinkään käsitellä. Videoiden avulla pystyttiin luomaan nopea kuva siitä, mitä ohjelmalla voidaan mahdollisesti tehdä.

Mallin luomisvaiheesta päällimmäiseksi jäi mieleen se, että kyseinen vaihe oli erittäin haastava ja paikoittain hieman uuvuttava. Haastavuus johtui pitkälti suunnitteluohjelman rajoituksista sekä mallintamisessa käytettävien eri vaihtoehtojen suuresta määrästä. Teoriassa suunnitellut mallin toteutusperiaatteet olivat käytännötilanteessa monesti toteuttamiskelvottomia, jolloin sopivaa mallinnustapaa jouduttiin etsimään usein pitkään. Tämän johdosta mallinnusperiaatteiden toimintaa piti lähes aina erikseen testata ennen kuin toimivuudesta voitiin olla varmoja. Työn uuvuttavuudella puolestaan viittaa lähinnä

siihen, että mallin parametrisointi sisälsi paljon käytännön toistoa. Mallit sisälsivät todella paljon samoja muuttujia sekä ehtoja, joiden määrittely Excelissä oli aika ajoin todella puuduttavaa. Hyvänä puolena tässä oli kuitenkin se, että mallinnustavat ja Excelin käyttö tulivat minulle työn aikana erittäin tutuiksi.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyöhön käytetty aika, ei vastannut ollenkaan sitä, mitä siihen oli suunniteltu käytettävän. Toteutuksen viivästymisen pääasialliset syyt olivat aiheen vaihtaminen sekä mallin kahden version luominen. Näiden vuoksi mallinnusvaihe jouduttiin tekemään käytännössä kaksi kertaa, jolloin myös toteutusvaiheen kesto vähintään kaksinkertaistui. Aikaa olisi säästetty myös todella paljon, jos työtä olisi rajattu hieman enemmän. Nyt kun työhön sisällytettiin lähes kaikki säiliökokoonpanon pääkomponentit, työ auttamatta paisui liian laajaksi. Itseni kannalta katsottuna positiivista oli kuitenkin se, että tuplatyömäärä todennäköisesti tuplasi myös oman oppimiseni.

Uskon että jatkossa opinnäytetyöstä tulee olemaan todella paljon hyötyä minulle itselleni, koska tulevaisuudessa yritykset pyrkivät yhä enemmän ja enemmän tehostamaan omaa suunnitteluaan. Tällöin opinnäytetyöstä saatu kokemuspohja antaa minulle huomattavan edun toimia vastaavanlaisissa kehitystehtävissä. Työ antoi minulle varsinkin erittäin hyvän kuvan siitä, miten mallien parametrisoiminen käytännössä kannattaa toteuttaa, ja mitä asioita vastaavanlaisen projektin alussa tulee huomioida. Työn aikana mallinnustaitoni- ja tietoni kehittyivät myös huomattavasti, jotka varmasti tulevat olemaan jatkon kannalta merkittäviä asioita.

LÄHTEET

Anttila, J. 2010. Suunnitteluautomaatio CAD-ohjelmissa. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 13.5.2012. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201005179432>.

API Standard 650. 2007. Welded tanks for oil storage. 11th ed. Washington, D.C: American Petroleum Institute.

Hietikko, E. 2007. AutoDesk Inventor. Helsinki: Readme.fi.

Laakko, T., Sukuvaara, A., Borgman, J., Simolin, T., Björkstrand, R., Konkola, M., Tuomi, J. & Kaikonen, H. 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.

Laurila, T. 1987. Tuotestandardisointi. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

Nissilä, T. 2009. Top-Down-mallinnus: Ratkaisu tavanomaisen 3D-suunnittelun vajavuuksiin. Opinnäytetyö. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, automaatioteknologian koulutusohjelma. Viitattu 12.5.2012. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-200909114471>.

Karibu Oy. 2012. Karibu Oy:n Internetsivut. Tietoa Karibu Oy:stä. Viitattu 12.5.2012. <http://www.karibu.fi/index.php?page=yritys>.

Sarinko, K. 1999. Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, konetekniikan osasto.

Automaattinen kokoonpano. 2005. Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 13.5.2012. <http://www.pe.tut.fi/akp/modulointi.html>.

Tuhola, E. & Viitanen, K. 2008. 3D-mallintaminen suunnittelun apuvälineenä. Tampere: Tammertekniikka.

Vainio, T. 2011. Projektipäällikkö. Karibu Oy. Haastattelu 12.10.2011.

LIITTEET